



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**VYUŽITELNOST CIVILNÍCH LETECKÝCH
ANTI-KOLIZNÍCH SYSTÉMŮ BEZPILOTNÍMI
LETADLY**

UTILIZABILITY OF CIVIL AIRCRAFT ANTI-COLLISION SYSTEMS BY UNMANNED AIRCRAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Muschalík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **David Muschalik**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Profesionální pilot
Vedoucí práce: **doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využitelnost civilních leteckých antikolizních systémů bezpilotními letadly

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úloha integrovat současné létání pilotovaných a bezpilotních letadel do společného vzdušného prostoru by mohla být řešena pomocí již existujících leteckých palubních antikolizních systémů, užívaných na palubách civilních pilotovaných letadel. Je možno použít tato zařízení i na palubách bezpilotních letadel? Za jakých podmínek a s jakým očekávaným výsledkem? Existují jiná řešení? Jaká? Jak by jejich zavedení ovlivnilo stávající systém řízení letového provozu?

Cíle bakalářské práce:

Posoudit možnosti využití systému TCAS/ACAS na palubách bezpilotních letadel. Navrhnout kategorie UAV, pro které by bylo dané řešení efektivní. Analyzovat možnosti zabezpečení opatření ochrany proti nežádoucím sblížením UAS v řízeném prostoru pomocí jiných metod. Definovat tyto metody a objasnit možnosti jejich použití. Analyzovat změny, které by navržená řešení přinesla do systému řízení letového provozu.

Seznam doporučené literatury:

KAYTON, M., FRIED, R.W.: Avionics Navigation Systems, second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996, ISBN 0-471-54795-6.

VOSECKÝ, S. a kol.: Základy leteckých navigačních zařízení, učebnice Univerzity obrany v Brně (VAAZ), Brno, 1988.

PŘIBYL, K., KEVICKÝ, D.: Letecká navigace, Tisk, knižní výroba, Brno, 1980.

KULČÁK, L. a kol.: Air Traffic Management, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2002, ISBN 80-7204-229-7.

KULČÁK, L., BLAŠKO, P., DENDIS, T., PALIČKA, L.: Zabezpečovacia letecká technika, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, 1999, ISBN 80-7100-584-3.

Učebnice pilota, nakladatelství Svět křídel, Praha, 2003, ISBN 80-85280-89-2.

STAVOVČÍK, B.: Obecná navigace, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2008.

VOSECKÝ, S.: Radionavigace, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2006, ISBN 80-720-448-6.

KULČÁK, L. a kol.: Učebnice pilota vrtulníku PPL(H), část II, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2009, ISBN 978-80-7204-638-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá využitelností civilních leteckých antikolizních systémů bezpilotními letadly. Práce je koncipována jako vstup do problematiky bezpilotních systémů, antikolizních systémů a dalších témat, která se k nim vztahují.

Abstract:

This bachelor thesis deals with the utilizability of civil aircraft anti-collision systems by unmanned aircraft. The thesis is designed to be an entry point to the issue of unmanned aircraft, anti-collision systems and other topics related to these.

Klíčová slova:

UAS, bezpilotní letadla, antikolizní systémy, GNSS, TCAS, ACAS, SSR, společný vzdušný prostor, letectví

Keywords:

UAS, unmanned aircraft, anti-collision systems, GNSS, TCAS, ACAS, SSR, joint airspace, aviation

Bibliografická citace:

MUSCHALIK, David. *Využitelnost civilních leteckých antikolizních systémů bezpilotními letadly*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116968>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Slavomír Vosecký.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s tématem „Využitelnost civilních leteckých antikolizních systémů bezpilotními letadly“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a řádně jsem ocitoval veškeré a použité prameny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 17. 05. 2019

.....

Podpis autora

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval všem vyučujícím, kteří mi předali cenné informace během studia. Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc. za projevenou trpělivost, čas a rady při psaní této práce, ale i za přístup ke studentům během celého studia. Dále bych rád poděkoval své rodině a všem, kteří mě během studia podporovali.

Obsah

1	Úvod	13
2	Bezpilotní systémy.....	14
2.1	Definice.....	14
2.1.1	Celosystémové pojmy	14
2.1.2	Pojmy specifické letadlu	14
2.2	Historie a současný stav	15
2.2.1	Začátky bezpilotního létání	15
2.2.2	Současný stav	17
2.3	Rozdělení	19
2.4	Porovnání bezpilotních letadel s pilotovanými letadly	21
2.5	Legislativa UAV	23
2.5.1	ICAO	23
2.5.2	Společné požadavky EASA	23
2.5.3	Požadavky České republiky	23
2.5.4	Způsob letu	24
2.5.5	Požadavky na výcvik pilotů UAS	25
3	Monitorování letadel za letu	25
3.1	Možnosti realizace monitorování.....	25
3.1.1	PSR – Primární přehledový radar	25
3.1.2	Sekundární přehledový radar	26
3.1.3	ACAS/TCAS.....	27
3.1.4	PCAS.....	32
3.1.5	GNSS	32
3.1.6	ADS-B	36
3.1.7	FLARM.....	37
3.2	Jiné možnosti zvýšení bezpečnosti provozu UAS	37
3.2.1	Geofencing	37
3.2.2	Světla/Barva	38
4	Implementace.....	39
5	Závěr	41
	Seznam použitých zdrojů:	42
	Seznam použitých zkratek:	46
	Seznam použitých obrázků:.....	48

Seznam použitých tabulek:.....	48
Seznam příloh:.....	48

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je využití leteckých antikolizních systémů bezpilotními letadly. Každý rok je přibližně 40 letadel zúčastněných v tzv. mid-air collisions, neboli srážkách ve vzduchu. Přibližně polovina z nich má smrtelné následky. [1] S narůstajícím počtem uživatelů vzdušného prostoru a snahou vytvořit společný vzdušný prostor pro pilotovaná i bezpilotní letadla je tedy řešení problematiky určení polohy letadel ve vzduchu a včasného varování před možnou srážkou zásadní. Cílem této práce je uvést čtenáře do problematiky bezpilotních letadel a antikolizních systémů a navrhnout takové řešení vstupu bezpilotních systémů do společného vzdušného prostoru, které by bylo efektivní v zajištění bezpečnosti.

Tato práce má 3 části, které mají čtenáři pomoci v pochopení dané problematiky. První část je zaměřena na problematiku bezpilotních systémů. Druhá část se zabývá způsoby monitorování letadel za letu, vhodnými pro bezpilotní systémy a poslední, třetí část je věnována možné implementaci různých metod monitorování letadel pro dané UAS.

Letectví, jako mnoho dalších oborů, směřuje k čím dál větší automatizaci a s tím i k využívání nových technologií a dalším výzvám spojených s jeho rozvojem. Jednou z těchto relativně nových technologií jsou bezpilotní systémy. Bepilotní letadla, původně vojenská technologie, v posledních letech zažila veliký rozmach. Nabízí potenciál pro rozsáhlé uplatnění bezpilotních letadel v mnoha oblastech a s tím, možná překvapivě, i spojený vznik mnoha nových pracovních míst. Vzhledem k širokým možnostem využití bezpilotních letadel, jako je například archeologie, environmentalistika, monitoring, kinematografie a další, roste výrazně jejich počet zejména v rukou civilních operátorů. Se zvětšujícím se počtem bezpilotních letadel se však zvyšuje i nebezpečí jejich střetu se sebou navzájem, s terénními, či jinými překážkami, nebo s jinými uživateli vzdušného prostoru. S jejich nástupem se také s větším důrazem začaly řešit otázky výcviku, bezpečnosti a mnoho dalších. Za zmínku stojí především legislativní otázka, která se doposud zaměřovala téměř výhradně na udržení bezpilotních letadel mimo společný vzdušný prostor.

Základní antikolizní systém, kterému se tato práce věnuje, je TCAS/ACAS a jeho možný vývoj do budoucna. Tento systém je již používán v komerční letecké dopravě, kde už dokázal zabránit mnoha katastrofám. Tato práce současně zmiňuje i další systémy, které mohou být využity pro zajištění bezpečného provozu UAV spolu s pilotovanými letadly, kam patří klasické radionavigační systémy jako primární radar, nebo moderní systémy jako GNSS a ADS-B.

Zároveň je v této práci poukázáno i na jiné metody vhodné pro zvýšení bezpečnosti a usnadnění provozu UAS a to i pro jiné než komerční využití. Pro tyto účely je zde kladen důraz na geofencing a vizuální zvýraznění, neboť se jedná o způsoby pasivní ochrany, které jsou pro konečného uživatele nejsnazší z hlediska jejich aplikace i ekonomické náročnosti, a přitom nemusí být uživatelem ani vnímaný jako rušivý prvek.

V poslední části této práce je navržena možná realizace implementace zabezpečovacích systémů a způsobů ochrany pro různé kategorie bezpilotních letadel a jsou popsány postupy, jakými bylo k tomuto řešení dospěno.

2 Bezpilotní systémy

Podrobný rozbor způsobů určení polohy bezpilotních systémů nejprve vyžaduje seznámení se s tím, co bezpilotní systémy jsou, z čeho se skládají, jaké jsou jejich druhy a jaké jsou jejich možnosti.

2.1 Definice

Pravděpodobně nejznámější a nejpoužívanější pojem spojený s bezpilotním létáním je „dron“. Tento pojem byl hojně užíván médií, veřejností, výrobci a často jej oficiálně používaly i vládní organizace. Jde však o pojem velmi nekonkrétní a pro legislativu nevyhovující. Místo něj zaznamenáváme využívání jiných, technicky přesnějších pojmů, které jsou specifikované dále v textu. Používání těchto nových pojmenování je zřetelné mimo jiné v dokumentech EASA, FAA a ICAO, které v definicích přestaly používat pojem dron a začaly využívat jiné názvy. [2]

2.1.1 Celosystémové pojmy

Bezpilotní létání má několik různých elementů: letadlo samotné, operátora, řídicí stanoviště, podpůrná vozidla, podpůrný pozemní personál a další. Pojmy, které tyto součásti zahrnují, se ve většině případů a v mnoha vládních a mezinárodních dokumentech označují zkratkou UAS, zastupující anglický termín Unmanned Aircraft System, neboli bezpilotní systém. Stejně jako se liší legislativa různých států, liší se i některé definice v rámci jejich užívání v různých zemích. Pro účely této práce byla zvolena definice Úřadu pro civilní letectví České republiky (dále jen Úřad).

UAS – Unmanned Aircraft System:

systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bepilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více. Může být též označován jako RPAS – Remotely Piloted Aircraft System. [3]

2.1.2 Pojmy specifické letadlu

K zavedení pojmů, určených pouze pro letadlo, je nejprve nutné specifikovat, zda je letadlo za letu pilotováno či nikoliv a zda je možné dodávat letadlu opravné impulsy ze strany pozemních operátorů. Odpovědi na tyto otázky jsou nezbytné zejména pro legislativní stránku problematiky, neboť jde o zásadně odlišné aktivity v případných právních sporech o náhradu škody a v trestních stíháních při případném selhání některého prvku.

UA/UAV – Unmanned Aircraft/Unmanned Aerial Vehicle:

letadlo, které nemá na palubě lidského operátora a je dálkově řízeno s užitím různých úrovní automatizace. Může být též označován jako RPA – Remotely Piloted Aircraft, přičemž tento pojem by mohl být považován za vhodnější, neboť indikuje dálkové řízení. [3]

Model letadla:

letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu. [4]

Ať už se jedná o kterýkoli z předem definovaných pojmů, mají tu společnou vlastnost, že se pilot nenachází na palubě letadla. Řídí jej však ze země a je schopen ve větší či menší míře ovlivnit průběh jeho letu. Existují však i taková letadla, která toto neumožňují.

Autonomní letadlo:

bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu. [3]

2.2 Historie a současný stav

Počátky létání bez pilota na palubě byly skromné a do jisté míry se nejednalo o UAS v dnešním smyslu. Některé příklady se blíží spíše definici dnešních řízených střel s ohledem na jejich destruktivní účinky a nemožností jejich opakovaného použití. Nebo se mohou zdát příliš bezvýznamné svými parametry a schopnostmi, než aby mohly být považovány za předchůdce technologie, která je dnes zajímavá pro všemožné skupiny obyvatelstva. Přesto jsou zde zařazeny z toho důvodu, že se jedná o letadla s vlastním pohonem a schopností letu bez posádky na palubě.

2.2.1 Začátky bezpilotního létání

Mnoho lidí by považovalo za začátek letectví let bratří Wrightů 17. prosince 1903, nebo první let balónem uskutečněný bratry Montgolfiery 5. června 1783. Nesmíme však zapomínat na fascinaci člověka létáním, která je mnohem starší, než první pilotované lety. První letadlo bez pilota na palubě, o kterém máme zmínky, byl Archytasův holub, sestrojený okolo roku 425 př.n.l. ve starověkém Řecku. Tento stroj, poháněný tlakem vodních par, nebo stlačeného vzduchu, byl sestrojen za účelem pokusného zjišťování způsobu letu ptáků. Ačkoli tento vynález byl schopný krátkého letu, nebyl říditelný a jeho přistání probíhalo volným pádem. Důvodem, proč je zde uveden jako předchůdce dnešních UAS je ten, že letadlo mohlo být po dopadu na zem, opět použito. [5]

Velký rozmach bezpilotního letectví přišel po vynálezu horkovzdušných balónů. V tomto případě, jako v mnoha dalších v průběhu historie, bylo vojenské využití hnací silou technologického pokroku UAS, jak dokazují případy létajících bomb. Tyto bomby byly hojně využívány při válečných konfliktech pro obléhání měst a jiných opevnění. Jako příklad můžeme zmínit Americkou občanskou válku v roce 1862, kdy byly bezpilotní balóny vypouštěny pro průzkum a bombardování. Tyto balóny měly výhodu delšího letu, ale stále se potýkaly s nedostatečnou mírou ovladatelnosti za letu. To je dobře patrné například na dalším příkladu, kdy při obléhání italských Benátek Rakousko-Uherskem v roce 1894, kdy bylo použito až 200 létajících bomb. Tento útok měl za cíl využít bezpilotní balóny k vzdušnému bombardování

Benátek, avšak vinou změny směru větru se některé balóny otočily zpět nad rakouské území a bomby dopadly tam.

S dalším milníkem v letectví, již zmíněným letem bratrů Wrightů, přišly nové možnosti v oblasti bezpilotních letadel. Snahu o využití těchto možností prokázaly v první světové válce obě válčící strany, a to navzdory technologickým nedostatkům. Mezi roky 1915 a 1918 pracoval Wilhelm von Siemens na stroji nazvaném Siemens torpedokluzák. Jednalo se o menší letadlo, které bylo vypouštěno z větších letounů, nebo vzducholodí, a které bylo ovládáno směrem k cíli tenkým drátem. V USA byl mezitím vyvíjen letoun Hewitt-Sperry Automatic Airplane, který se v mnoha ohledech podobá dnešním UAS. Jednalo se o dálkově ovládaný letoun se schopností relativně dlouhého doletu a s možností umístění poměrně těžkého nákladu. Později byl doplněn o funkci automatického letu, při kterém byly manévry předem určeny, a když letoun letěl předem stanovenou dobu, došlo k vypnutí motoru, oddělení křídel a letoun přešel do pádu, na jehož konci explodovala v něm umístěná 80 kg těžká nálož. Z tohoto popisu je patrné, že se jednalo jak o předchůdce UAS, tak o předchůdce řízených střel. Vývoj těchto letounů byl časově velmi náročný a než mohlo dojít k jejich nasazení do boje, válka skončila. [6]



Obrázek 1 – Hewitt-Sperry Automatic Airplane [42]

Prvního využití ve velkém se UAS dočkaly až s příchodem druhé světové války. V této éře vyniká, a je asi nejznámější, německá *Vergeltungswaffe 1* (V1). Jedná se o první hromadně používanou střelu s plochou dráhou letu na světě – do konce války bylo vypuštěno přes 20 000 střel, většina s cílem: zasáhnout Anglii. [7]



Obrázek 2 – Vergeltungswaffe 1 (V1) [43]

S příchodem studené války ve druhé polovině 20. století se změnilo zaměření UAS. Vývoj bezpilotních strojů se soustředil více na pozorovací techniku, než na použití k destrukci. Ať už americký Lightning bug nebo jeho ruský protějšek Lavochkin La-17, byly určené pro získání informací a hlavně pro vícenásobné použití, čímž se odlišují od řízených střel. Americká vláda tato bezpilotní letadla nasazovala později i v jiných konfliktech, například ve Vietnamu, pro monitorování zemského povrchu. Ne všechna využití UAS jsou však spojená s válkou. V roce 1946 byly, s pomocí přestavěného stíhacího letounu, provedeny lety do bouřek za účelem získat informace pro americký meteorologický ústav.



Obrázek 3 - Lavochkin La-17 [44]

2.2.2 Současný stav

S technologickým rozvojem se změnily i UAS a spolu s nimi i jejich uživatelé. Zatímco se zpočátku jednalo o čistě vojenskou technologii, dnes může mít dron každý, kdo má dostatečné finanční prostředky. Navíc se uživatelská základna pilotů UA několikanásobně rozšířila. [8] Z několika desítek tisíc nadšenců, kteří si své stroje staví sami, se rozrostla na miliony uživatelů, zpravidla využívajících komerčně vyráběných strojů z obchodů s elektronikou.

Jak je patrné z předchozí kapitoly, UAS a jejich vojenské využití byly spjaté po dlouhá desetiletí. A ani v dnešní době tomu není jinak. Vývoj nových a lepších bezpilotních systémů je stále perspektivní a věnuje se mu velká pozornost ve vojenském prostředí. Snaha získat rychlejší, obratnější a co nejméně zachytitelná letadla se stále delším doletem a zvyšující se kapacitou možného využití, vytváří prostředí pro vznik stále nových systémů. Ať už se jedná o patrně nejznámější vojensky využívaný UAV General Atomics MQ-1 Predator, který byl úspěšně nasazený americkou armádou v konfliktech v Iráku, Afghánistánu a na dalších místech, nebo jeho nynější model General Atomics MQ-9 Reaper. Tato letadla jsou velikostí, rychlostí a smrtelností srovnatelná s pilotovanými letadly a oproti nim mají ve vojenském využití výhodu bezpečí pro pilota, který není vystaven nebezpečí úmrtí při sestřelu. Díky technologické vyspělosti daných zařízení je možné jejich schopnosti využít i pro mnoho jiných účelů. [9]



Obrázek 4 - General Atomics MQ-1 Predator [10]

Jak již bylo zmíněno, UAS se využívaly i mimo vojenské účely. S levnější technikou a neustálým vývojem se UAS dostalo tak výrazného rozmachu v rukou civilního obyvatelstva, který v dějinách nemá obdoby. Může se jednat o komerčně využívané UAS, které jsou zejména díky kapitálu společností jako Amazon, Google, Facebook a dalších technologických gigantů vyvíjeny jejich odborníky nebývalou rychlostí. Zaměřují se především na rozvoj nákladních kapacit určených pro systém doručování zásilek, rozvoj doletových a vytrvalostních schopností, pro trvalé nasazení sítíových systémů, ale i na další možnosti využití. Mezi takové letecké stroje se řadí Facebookem vyvíjený, solárně poháněný, atmosférický satelit Aquila [11], určený k poskytnutí přístupu k internetu v odlehlých oblastech, nebo Amazonem vyvíjené UAS pro expresní přepravu zásilek s hmotností do 2,3kg, které mají být schopné bezpečného autonomního letu. [12]



Obrázek 5 - koncept Amazon delivery dronu [12]

Mimo komerční a vojenské využití se od roku 2014 začala o drony výrazněji zajímat i široká veřejnost, kterou zaujal potenciál ‚nekomerčního‘ využití spotřebitelských bezpilotních letadel. Tento trh je jeden z nejrychleji rostoucích, s předpovídaným obratem 3,3 miliardy dolarů v roce 2020. Není tedy divu, že se spotřebitelsky zaměřené společnosti, vyvíjející UAS, jako Dji, Parrot, Yuneec a další, předhánějí v množství nabízených modelů se stále sofistikovanějšími schopnostmi. Dobrým příkladem může být Dji Spark, který je, i přes velikost

pouhých 143x143x55 milimetrů, schopný dosáhnout rychlosti 50 km/h, má dostup 4000 metrů a má takové funkce jako ovládání pomocí gest, aktivní sledování, pořízení videozáznamu s automatickou stabilizací, samostatný návrat k operátorovi a vyhýbání se překážkám. [13] Zároveň je u těchto nově vyvíjených modelů snahou omezit incidenty spojené s UA vývojem a aplikací různých metod, které mají zabránit neúmyslnému porušení stanovených předpisů a předejít nezodpovědnému využívání ze strany široké veřejnosti. Tyto metody, kterým je věnována pozornost dále, jsou aplikovány, protože se strmým nárůstem používání těchto zařízení narostl i počet incidentů s nimi spojených. To je dáno jednak rostoucím počtem těchto zařízení, a jednak nedostatečnými znalostmi a výcvikem jejich obsluhy. Svůj vliv zde hraje i nedostatečná legislativa, jejíž úprava zaostává za vývojem a rostoucí oblibou UAS u široké veřejnosti.

2.3 Rozdělení

Druhů bezpilotních letadel existuje celá řada s různými způsoby vyvozování vztlaku, konstrukcemi, počty pohonných jednotek, nosnostmi a dalšími odlišnostmi. Stejně jako u pilotovaných letadel je i zde vícero možností monitorování polohy. Pro zvolení nejvhodnější metody zajištění provozu s minimální pravděpodobností srážky je tedy nutné rozdělit UAS do kategorií.

Pro účely této práce bylo zvoleno rozdělení podle velikosti a dostup, neboť se jedná o faktory ovlivňující využití a možnosti vybavení daných letadel. Zároveň se tyto kategorie velmi podobají, neboť se s narůstající výkonností zvyšuje i dostup.

Velikost:

Třída I – Micro

Do této skupiny patří tzv. Micro a UAV. Jedná se o zařízení velikosti větších brouků. Mohou být využita například ke špionáži nebo k biologickému válčení. Jsou schopna letu na velmi krátké vzdálenosti. Předpokládá se, že pokud by došlo k srážce mezi strojem z této skupiny a jiným letadlem, nedojde k závažnému poškození letadla. Mezi výhody se řadí velmi nízká hmotnost, snadná přeprava a taktické možnosti. Nevýhodami jsou velmi krátká doba výdrže a velmi snížená schopnost letu i za mírně zhoršených meteorologických podmínek.

Třída I – Mini

Do třídy I patří i tzv. Mini UAV. Většinou se jedná o snadno přenosná zařízení, která provádí vzlet za pomoci ručního vypuštění. Jsou schopna letu na krátké vzdálenosti. Výhody těchto zařízení jsou: nízká váha, snadnost přenosu, jednodušší logistika a snazší servis. Nevýhodami jsou krátký dolet a nesnadná manipulace za zhoršených meteorologických podmínek.

Třída I – Small

Kategorie Small je určena takovým letadlům, která jsou moc těžká, než aby byla nesena jednou osobou, jsou však stále menší než konvenční lehké letadlo. Běžně mají rozpětí křídel do 10 metrů a mají MTOW až 150 kg. Jsou provozována ve středních výškách. Výhodami jsou: možnost přepravy nákladu, vybavení zbraňovými systémy a schopnost letu i za horších

meteorologických podmínek. Za nevýhody považujeme vyšší hmotnost a potřebu většího množství podpůrného personálu.

Třída II

Třída II obsahuje UAV o hmotnosti mezi 150 a 600 kg. Rozměry těchto letadel jsou obvykle v jednotkách metrů a jsou provozována ve výškách do 18 000 ft. Jejich výhodami jsou: možnost přepravy většího množství nákladu, vybavení zbraňovými systémy a schopnost letu i za horších meteorologických podmínek. Za nevýhody považujeme vyšší hmotnost a potřebu většího množství podpůrného personálu.

Třída III

Velká UAV je skupina největších bezpilotních zařízení. Jsou provozována ve středních až vysokých výškách a mívají největší dolet, rychlost a výdrž. Díky schopnosti nést veliké užitečné zatížení, mají širokou škálu využití. Výhodou jsou zejména největší dolet, dostup a výdrž těchto strojů a jejich schopnost pokrýt velkou oblast. Nevýhody jsou: potřeba upravené plochy pro vzlet, množství podpůrného personálu, které se blíží pilotovanému letadlu a omezené možnosti provozu v společném vzdušném prostoru, která mohou značně zkomplikovat provoz.

Třída	Kategorie	Rozpětí
I (<150 kg)	Micro (<66 J)	~1 cm
	Mini (<15 kg)	~1-10 cm
	Small (>15 kg)	~10 - 100 cm
II (150-600 kg)	Tactical	~1 m
III (>600 kg)	MALE	~1 – 10 m
	HALE	~10 m
	Stirke/Combat	~10 m

Tabulka 1 - rozdělení dle velikosti/hmotnosti (~zastupuje výraz několik jednotek) [14]

Dostup:

Dělení dle dostupu je zvláště důležité z hlediska tříd vzdušného prostoru a jeho využitelnosti letadly různých kategorií, která létají za různých podmínek a pravidel letu.

Low performance UAV: Low performance UAV jsou schopna letu ve výšce řádově desítek metrů. Většinou se jejich výdrž pohybuje v řádu minut a jsou schopna letu do vzdálenosti několika stovek metrů. Jedná se o skupinu nejméně výkonných UAV.

Medium performance UAV: Medium performance UAV jsou schopna letu ve výškách desítek až stovek metrů. Jejich výdrž je v desítkách minut a jsou schopna uletět vzdálenost několika kilometrů. Tato skupina může být označována také jako LASE (Low Altitude Short Endurance).

High performance UAV: tato skupina obsahuje 3 podskupiny označované jako LALE, MALE a HALE.

LALE (Low Altitude Long Endurance): jedná se o UAV schopná letu ve výšce v řádu stovek metrů, výdrží v násobcích 30 minut a doletu v násobcích 10 kilometrů.

MALE (Medium Altitude Long Endurance): tato skupina UAV dokáže létat ve výškách několika jednotek až desítek kilometrů. Disponuje výdrží v řádech jednotek hodin a doletem v stovkách kilometrů.

HALE (High Altitude Long Endurance): jedná se o nejvýkonnější skupinu tohoto dělení. S maximální výškou letu řádově v desítkách kilometrů, výdrží v desítkách hodin a doletem několik tisíc kilometrů se tato letadla mohou rovnat nejvyšší třídě pilotovaných letadel.

Je vhodné rozlišovat mezi vzdušnými prostory se službou řízení letového provozu a bez ní. Řízené třídy VP jsou A, B, C, D a E. Do těchto prostorů je pro lety IFR povolen vstup pouze se souhlasem ATC a je vyžadováno, aby bylo možné monitorovat pohyb letadel po celou dobu jejich přítomnosti v těchto vzdušných prostorech. Podle toho se také bude odvíjet řešení pro UAV s plánem letu v těchto prostorech.

Ne všechny země mají všechny třídy VP. Třídy VP se mohou lišit v různých zemích, a to i v rámci Evropské unie. V České republice se vyskytují třídy C, D, E a G.

Kategorie	Typ	Operační výška	Výdrž	Dolet
Low performance	MAV	~10 m	~ minuty	~ 100 m
Medium performance	LASE	~10-100 m	~ 10 minut	~ km
High Performance	LALE	~100 m	~ 30 minut	~ 10 km
	MALE	~1 – 10 km	~ hodin	~ 100 km
	HALE	~10 - 30 km	~ 10 hodin	~ 1000 km

Tabulka 2 - dělení dle výkonnosti (~zastupuje výraz několik jednotek) [15]

2.4 Porovnání bezpilotních letadel s pilotovanými letadly

Pilotovaná letadla jsou využívána v mnoha odvětvích lidských životů, ať už se jedná o cestování, mapování terénu, přepravu nákladu, dopravní inženýrství, farmářství a mnohá další. Většina činností, které využívají podpory pilotovaných letadel, se během let vyvíjela a bylo dosaženo stavu, který se jeví jako uspokojivý jak pro piloty, tak pro klienty. Mohlo by se zdát, že pro využití UAS tedy není důvod, opak je však pravdou. Důvodů, proč využít bezpilotní systémy místo konvenčních, pilotovaných letadel může být mnoho.

Úspora hmotnosti

Vzhledem k tomu, že tyto stroje jsou řízené dálkově, nebo pomocí předem naprogramovaných povelů, odpadá nutnost vozit na palubě pilota. Tím může být dosaženo úspory hmotnosti, která vede k nižší spotřebě paliva, delší výdrži nebo dává možnost využít uspořenou hmotnost pro instalaci systémů, určených k provedení dané činnosti: kamery, lasery, LIDARy, a další.

Úspora času

Menší váha a rozměry, ve spojení s jednoduchou přípravou pro let u velmi malých a malých UAS, umožňují provést požadovanou činnost za mnohem kratší čas. Zároveň některé systémy umožňují přenos dat a jejich vyhodnocení v reálném čase, díky čemuž dojde k úspoře času u přenosu dat a v následném vyhodnocování.

Vliv na životní prostředí

UAV se dodávají v mnoha různých rozměrech a s různými parametry. Tato pestrost ve výběru umožňuje zvolit správnou velikost pro tu aplikaci, na kterou bude ve většině případů stroj nasazen. Díky tomu může dojít k úspoře na zvoleném materiálu na konstrukci letadla, úspoře paliva v jeho nádržích a k úspoře materiálu na jeho údržbu. Vzhledem k rapidnímu vývoji těchto letadel a nepřítomnosti osob na jejich palubě se také objevuje mnoho bezpilotních letadel s alternativními pohony (elektrický, vodíkový a další), které mohou být šetrnější k životnímu prostředí.

Hluk

Dalším aspektem, úzce spojeným s provozem UAS, ale i letadel jako takových, je hluknost. Ta je často omezujícím faktorem pro jejich použití v přírodních rezervacích, ale i v blízkosti obytné zástavby, a podobně. Díky nižší hmotnosti a s ní spojenou nižší potřebou výkonu se značně redukuje hluk, generovaný z pohonných jednotek a vrtulí.

Ekonomický aspekt

Možnost vybrat si UAS podle vlastních, specifických potřeb umožňuje uživatelům ušetřit jak při počáteční investici na jejich nákup, tak při předepsaných prohlídkách a v neposlední řadě při ceně za palivo. Většina provozovatelů si vystačí s malými UAV, která mají menší spotřebu, nebo jsou provozována na elektřinu. Srovnatelně nízká pořizovací cena umožňuje pořídit si UAS i do oblastí, kde by se o pilotovaných letadlech vůbec neuvažovalo. Následná optimalizace jakéhokoliv procesu s využitím UAS může přinést značné úspory.

Mnohostrannost

Stejně jako běžná letadla, i UAS mají širokou škálu využití. Díky možnosti letu bez pilota na palubě se zmenšují jejich minimální rozměry a rozšiřuje se tak i oblast jejich možného využití. Jednou z nich může být nově i jejich použití uvnitř budov nebo ve stísněných prostorech. Minimalizací UAS se zároveň umožňuje jejich bezpečnější let na malých rychlostech a v malé výšce.

Bezpečnost

V neposlední řadě je výhodou UAS bezpečnost pro pilota. Ten může řídit letadlo z bezpečí země, z bezpečné vzdálenosti. Díky tomu je chráněn před nebezpečím vyplývajícím z činnosti vykonávané letadlem.

2.5 Legislativa UAV

Legislativní otázka kolem bezpilotních systémů je velmi složitá a stále se vyvíjí. Od dob původních UAS, uvažujeme-li systémy z období 1. a 2. světové války, kdy se na ně nevztahovala žádná pravidla, přes Chicagskou úmluvu (Úmluvu), kde byly poprvé zmíněny v mezinárodně platném právním dokumentu, až po dnešní zákony států a mezinárodních organizací, se velmi změnila legislativa týkající se UAS. V posledních několika letech je patrná snaha o společná pravidla pro mezinárodní vzdušný prostor, která by usnadnila provoz pro uživatele veškerých kategorií letadel, tedy i UAS.

2.5.1 ICAO

Jak již bylo předesláno, první dokument, ve kterém byly UAS zmíněny, je Úmluva. Ta zároveň dala zrod mezinárodní organizaci pro civilní letectví, známou pod zkratkou ICAO. Tato organizace určuje základní pravidla nejen pro UAS, kterými se musí řídit všechny státy, jež tento dokument podepsaly, pokud neoznámí národní odchylku.

2.5.2 Společné požadavky EASA

Je nutné vytvořit společná pravidla pro provoz bezpilotních systémů, která mají mezinárodní, případně celosvětovou působnost. Zároveň je vhodné zaměřit pozornost na vývoj techniky a přizpůsobit tomu v rámci možností legislativu tak, aby byla oproti technologickému vývoji o krok napřed. Pokud tento krok neučiní ICAO, měly by se o shodu v předpisech zasadit organizace jako FAA, EASA a JARUS. Pokud se tak nestane, je velmi pravděpodobné, že si jednotlivé státy ustanoví svoje vlastní, různá pravidla, čímž znesnadní provozovatelům orientaci a zpomalí vstup UAS do mezinárodního společného vzdušného prostoru. [2]

Předpisy platné v současné době jsou nařízení: (ES) č. 2111/2005, (ES) č. 1008/2008, (EU) č. 996/2010, (EU) č. 376/2014 a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU a 2014/53/EU a kterým se zrušuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 552/2004 a (ES) č. 216/2008 a nařízení Rady (EHS) č. 3922/91. Nařízení nabylo účinnosti ke dni 11. září 2018. Tyto předpisy neregulují bezpilotní letadla pod 150 kg, která jsou regulována národními předpisy členských států EASA. [16]

Snaha o vytvoření těchto pravidel se v posledních letech projevila ve formě návrhu společných evropských pravidel Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139 o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Agentury Evropské unie pro bezpečnost letectví. Tento předpis byl schválen výborem EASA a předán Evropskému parlamentu a Radě EU pro přezkoumání. Pokud nebudou vzneseny námitky, bude do roku 2022 přechodné období ukončeno a nařízení bude plně použitelné. [16]

2.5.3 Požadavky České republiky

Právní dokumenty, týkající se UAS v České republice, jsou v souladu s dokumenty ICAO a EASA. Mohou však být přísnější. Zároveň je na zodpovědnosti každého státu, aby si vytvořil legislativu upravující UAS pod 150 kg tak, aby byly splněny podmínky bezpečného provozu. Právní dokumenty v České republice týkající se UAS jsou tyto.

49/1997 Sb., o civilním letectví

L7 – český ekvivalent Annex 7

L2 – český ekvivalent Annex 2

L2 – Doplněk X

Většina těchto dokumentů (vyjma L2 – Doplněk X) se primárně zaměřuje na provoz pilotovaných letadel, a ačkoliv jsou v nich UAS/UAV zmíněny, často se s nimi zachází jako s pilotovanými letadly. To vede k nedostatečnému popsání požadavků kladených na UAV.

L2 – Doplněk X se zabývá právě UA. Stanovuje, v jakých prostorech a jakým způsobem mohou být prováděny lety UA. Zabývá se všeobecnými podmínkami provozu UA a právy a povinnostmi jejich obsluh.

2.5.4 Způsob letu

Jak již bylo zmíněno, společným znakem bezpilotních letadel je, že se pilot nenachází na palubě. Tím vzniká řada výzev spojených s monitorováním ostatního provozu ve vztahu k bezpilotnímu letadlu v provozu a případnému vyhnutí se navzájem. Aby bylo možné určit způsoby a pravidla letu bez pilota na palubě, je potřeba rozdělit samotné způsoby letu.

VLOS (visual line of sight)

Základním způsobem letu, který bývá součástí každého letu, je let za viditelnosti letadla. Při něm se předpokládá, že pilot má nepřetržitý vizuální kontakt s letadlem a jeho okolím tak, že je schopen případné srážce s překážkami nebo jinými letadly zabránit. Pravidlem, které je ovšem nutné upravit dle daných podmínek (povětrnostní situace, velikost bezpilotního letadla, dané schopnosti pilota...) je, že let do 500 m horizontálně a 400 ft vertikálně se považuje za VLOS. [17]

EVLOS (extended VLOS)

Prodloužený let za dohlednosti letadla nastává v nebo nad 500 m / 400 ft, v případech, kdy je požadavek na vyhnutí se překážkám a jiným letadlům splněn jinými způsoby než přímým pohledem na letadlo. Pokud chce operátor provádět tyto lety, je povinen doložit bezpečnostní případovou studii, zahrnující posouzení rizik. V ní musí zohlednit postupy pro vyhnutí se srážkám, velikost letadla, barvu a označení letadla, pomocné prvky letadla pro sledování, meteorologické podmínky a dohlednost, použití pozorovatelů a omezení operačního dosahu (technické schopnosti a omezení radiového vybavení). [17]

BVLOS (beyond VLOS)

Za hranicí, kdy je pilot schopen reagovat na překážku, nebo se vyhnout jiným uživatelům vzdušného prostoru, nastává způsob letu BVLOS. UAS určené k letu za hranicí přímé dohlednosti musí buď disponovat schválenou metodou vzdušné separace a předcházení srážkám, která bude v souladu s „Rule 8 of the Rules of the Air Regulations 2007 (Rules for avoiding aerial collisions)“, nebo bude takový UAS omezený na segregovaný vzdušný prostor. To platí pro všechny lety za IFR, lety s povolením ATC, stejně jako lety za VFR. [17]

2.5.5 Požadavky na výcvik pilotů UAS

Výcvik je důležitým faktorem přispívajícím k bezpečnosti a plynulosti leteckého provozu. Dle již zmíněného Doplnku X se však operátoři bezpilotních letadel do 25 kg, provozujících UAS rekreačně, nebo sportovně, nemusí podrobit teoretickému ani praktickému testu pilota, čímž vzniká riziko nedostatečných znalostí a schopností pro obsluhu daného stroje. Z narůstajícího množství incidentů lze soudit, že si mnoho pilotů malých UAS neuvědomuje rizika a pravidla spojená s letectvím. I když je jasné, že plnohodnotný teoretický a praktický výcvik není vhodným řešením pro všechny, je nutné zavést takové požadavky, které by se týkaly pilotů nezávisle na tom, zda létají komerčně, sportovně, nebo rekreačně.

Od pilotů, kteří chtějí ovládat UAS pro komerční využití nebo UAS přesahující 25 kg, je vyžadován výcvik a složení praktického a teoretického testu. [3]

3 Monitorování letadel za letu

Monitorování letadel za letu je zásadní pro zajištění bezpečného a plynulého provozu letadel a leteckého provozu. Dosáhnout takového monitorování, které splní požadavky bezpečnosti a plynulosti, je jednou z hlavních výzev moderního letectví a existuje mnoho zařízení, která se podílejí na jejím řešení. Je možné využívat systémy, které jsou závislé na spolupráci letadel nebo takové, které jsou schopné určit polohu letadla bez jeho aktivní spolupráce. Zároveň lze využít metod pasivního zvyšování bezpečnosti pro letadla nižších kategorií.

3.1 Možnosti realizace monitorování

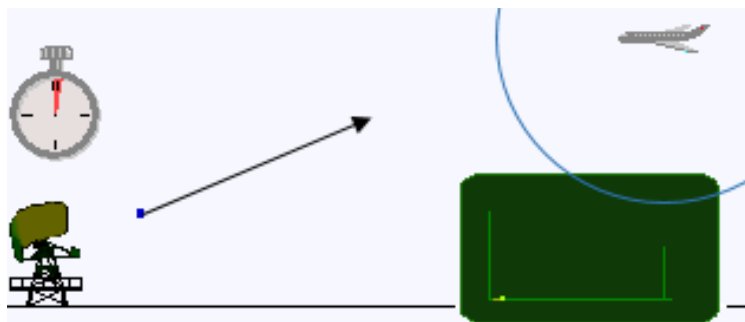
Způsobů aktivního monitorování polohy pilotovaných nebo bezpilotních letadel je celá řada. Pro stanovení nejvhodnější varianty je dobré se s těmito způsoby seznámit a zjistit, jaké výhody a nevýhody mají.

3.1.1 PSR – Primární přehledový radar

Radar je pozemní radionavigační zařízení využívané složkami řízení letového provozu pro sledování cílů ve vzduchu bez jejich aktivní spolupráce. Tento způsob sledování je u primárního přehledového radaru založený na principu vyslání velkého množství energie v impulzech a přijetím energie zpětně odražené od sledovaného cíle (letadla). Při znalosti směru příjmu a doby od vyslání signálu lze zjistit směr a vzdálenost cíle od pozemní stanice. Díky tomu je možné získat informace o poloze, aniž by byla vyžadována spolupráce posádky.

Určení vzdálenosti: vzdálenost se určuje pomocí doby mezi vysláním impulsu a příjmem odražené energie.

Určení směru: měření úhlu závisí na tvaru SVD v dané rovině. Čím užší svazek je vysílán, tím větší přesnosti lze dosáhnout. [18]



Obrázek 6 - princip práce primárního sledovacího radaru [19] (upraveno)

3.1.2 Sekundární přehledový radar

Sekundární přehledový radar je systém detekující v pravidelných intervalech polohu cílů (letadel) společně s dalšími informacemi, jako výškou, identifikací a dalšími. Na rozdíl od primárního radaru nezískává tyto informace na základě detekce odražené energie, nýbrž na základě vyslání dotazu z pozemních zařízení a následným příjmem odpovědi od palubních odpovídačů. Druh přijatých informací je závislý na módu, ve kterém byl vyslán dotaz.

Princip činnosti: energie (dotaz) je vysílána požadovanými směry z pozemního zařízení. Pokud tato energie zasáhne letadlo s přijímačem daného módu, spustí se na letadle odpovídač, který vyšle vlastní signál (odpověď) přijímaný pozemním přijímačem SSR. Díky různým kmitočtům pro dotazy (1030 MHz) a odpovědi (1090 MHz) nejsou zachytávány odražené signály dotazů. [20]

Módy dotazů:

Jak již bylo předesláno, existuje více módů, ve kterých bývají vysílány dotazy. V dnešní letecké dopravě jsou využívány módy A, C a S. Odpovídače a jejich módy mají další význam i pro jiné systémy jako TCAS/ACAS.

Mód A: Základní mód vycházející z technologie IFF (identification Friend or Foe). Umožňuje zobrazit letadlo a jeho identifikaci (4 místný kód, který byl přidělen ATC, což umožňuje snazší orientaci v situaci uvnitř vzdušného prostoru). [18]

Mód C: Dotaz vyslaný v tomto módu umožňuje zobrazit výšku nad střední hladinou moře při tlaku 1013,25hPa s přesností na 100 ft. [21]

Oba tyto módy mají počet přidělených kódů omezený na 4096. To nedostačuje, neboť není vhodné přidělit dvěma letadlům stejný kód, protože by mohlo dojít k záměně. Zároveň přesnost zobrazování výšky módu C přestala být dostatečující s příchodem snížených výškových separací. Dotazy vyslané v obou módech také podléhají chybám fruiting a garbling.

Fruiting: fruiting je nesynchronní porucha, která vzniká příjmem odpovědí, vyvolaných jiným pozemním dotazovačem. Tato chyba vzniká tím, že palubní odpovídače vysílají všesměrově – tím může být zachycena odpověď i na pozemním přijímači, který se v tomto směru v danou chvíli nedotazoval. [18]

Garbling: jedná se o synchronní poruchu způsobenou velkým množstvím současně existujících signálů blízko u sebe. Pokud se nachází víc letadel ve stejném směru a podobné vzdálenosti od pozemního dotazovače, může nastat, že se odpovědi budou překrývat a vznikne nejednoznačný obraz. [18]

Z těchto důvodů byl vyvinut další mód, který pracuje na velmi podobném principu, je však přesnější a je schopen přiřadit přes 16 milionu různých kódů. To umožňuje přiřadit každému letadlu jeho vlastní kód, který mu zůstane trvale (mění se případně při zániku letadla, nebo při přepisu do rejstříku jiného státu). [18]

Mód S: tento mód byl vyvinut, protože byla vyčerpána kapacita předchozích technologií. Odpovídače módu S v ELS (elementary surveillance) předávají identifikaci a informaci o výšce (nyní s přesností na 25 ft) společně s informacemi o statusu letu (letadlo na zemi/ve vzduchu). Zároveň mohou v EHS (enhanced surveillance) předávat další informace jako zvolenou letovou hladinu (z FMS), GS, magnetic heading, IAS a Machovo číslo, rychlost stoupání/klesání a další. To napomáhá ATC v přehledu o aktuální situaci, zvyšuje bezpečnost a snižuje množství vyžadovaného hlasového přenosu. [22]

3.1.3 ACAS/TCAS

ACAS bývá označení pro koncept a TCAS bývá označení implementace. V této práci budou využívány oba pojmy jako synonyma. (kapitola ACAS/TCAS viz. [23], pokud není uvedeno jinak)

TCAS je systém pracující nezávisle na řízení letového provozu a pozemním navigačním vybavením, upozorňující na nebezpečí kolize s jiným letadlem. Slouží jako poslední záchytná síť nezávisle na zvolených separacích. Je realizován pomocí vzájemné komunikace mezi dotazovači a odpovídači na palubách různých letadel. Výstrahy systému ACAS viz příloha 1.

Princip činnosti: ACAS funguje pomocí vysílání dotazů z palubních dotazovačů v pravidelných intervalech. Odpovídače jiných letadel (pokud jsou jimi vybavena a fungují) zareagují na tento dotaz a pošlou odpověď – dle módu odpovídače. Následným vyhodnocením přijatých informací z několika po sobě jdoucích odpovědí a informací o vlastním letadle, je systém schopen posoudit, zda se schyluje k srážce, či nikoli a varovat posádku. Případně může navrhnout takové opatření, které by srážce zamezilo - pouze pro módy S a A/C a pokud je alespoň 1 letadlo vybaveno TCAS II. Jednotlivé komponenty systému ACAS viz příloha 2.

Existuje víc verzí TCAS používaných v současné době. Všechny verze poskytují určitou úroveň upozornění na jiná letadla v blízkosti a na nebezpečí srážky. Úroveň ochrany se liší dle vybavení, které je instalováno na letadle.

TCAS I: je systém, který se v pravidelných intervalech dotazuje všech odpovídačů v blízkém okolí a na základě odpovědí sleduje šikmou vzdálenost, výšku (pokud je obsažena v odpovědi) a relativní zaměření objektu k danému letadlu. Poskytuje posádce upozornění na provoz - TA (traffic advisory), neboli informaci o tom, že letadlo – narušitel představuje potenciální ohrožení. Tato informace má sloužit k usnadnění vizuálního vyhledávání provozu. TA poskytují pilotovi informace o vzdálenosti a azimutu. Pro letadla vysílající výšku, také informaci o relativní výšce a vertikální rychlosti. Zobrazení TA je doprovázeno zvukovou

výstrahou „Traffic, Traffic“. Zvukové výstrahy jsou potlačeny, pokud se letadlo nachází pod 400 ft nad zemským povrchem nebo pokud má vysunutý podvozek.

TCAS II byl navržený, aby pracoval v provozu o hustotě až 0.3 letadla/NM². Tento systém pracuje stejně jako TCAS I. Avšak kromě TA je také schopný poskytnout rady k zabránění srážce – RA (resolution advisory). Jedná se o informace o provozu poskytnuté s doporučením manévru určeného pro zabezpečení rozstupu týkající se všech letadel-narušitelů nebo k omezení manévru určeného na dodržení existujícího rozstupu. Pokud pilot obdrží RA, musí jednat podle ní nezávisle na příkazu ATC. TCAS II má několik verzí.

Verze 6.0/6.04a

Verze 6.0 byla první, která byla testována v globálním měřítku. Výsledky tohoto testování přinesly poznatky vedoucí k vývoji verze 6.04, která přinesla řadu vylepšení. Nová verze si kladla za cíl snížit počet varování, které vznikaly při nízkých výškách nad terénem a při vyrovnávání do horizontálního letu.

Verze 7.0

Provoz verze 6.04 odhalil, že při řešení potenciálně nebezpečných situací docházelo k změně vertikální polohy o více než 300 ft, čímž mohlo docházet ke sblížení s dalšími letadly. To vedlo k vývoji verze 7.0, která vylepšila kompatibilitu s ATC a přinesla RA displeje, vylepšené algoritmy, zjednodušené zvukové výstrahy a výcvikové programy pro posádky s cílem snížit počet RA a zajistit minimalizaci změn výšky při řešení situací. Dále byla tato verze doplněna o sledování vertikální polohy po 25 ft, kompatibilitu s RVSM a o postupy pro snížení elektromagnetického rušení.

Verze 7.1

Vývoj verze 7.1 byl iniciován ze strany EUROCONTROLu, z důvodu odhalení 2 zásadních bezpečnostních nedostatků v předchozích verzích TCAS II. Prvním z nedostatků se ukázalo být jednání některých pilotů, kteří neučinili správné opatření v reakci na RA. Tito piloti namísto snížení vertikální rychlosti tuto rychlost zvýšili, nebo překročili povolenou letovou hladinu, což vyvolalo další RA a narušilo provoz ATC. K zamezení toho problému byla změněna indikace „Adjust Vertical Speed, Adjust“ (AVSA) na přesnější upozornění „Level Off, Level Off“ (LOLO). Druhým nedostatkem byla neúspěšnost systému ve změně RA, když se dvě letadla nadále blížila i navzdory výstraze. K takovéto situaci by mohlo dojít, pokud by jedno letadlo nerespektovalo RA, nebo by nebylo vybaveno TCAS II a řídilo se pokyny ATC, nebo pokud by se snažilo vyhnout vizuálně. Jako řešení tohoto problému bylo zavedeno monitorování dodržování RA systémem ACAS v koordinovaných setkáních (tj. pokud jsou obě letadla vybavena TCAS II). Pokud jedno z letadel nereaguje správným způsobem, nebo nereaguje vůbec, je vydáno nové, změněné RA letadlu, které reaguje správným manévrem.

ACAS III přidává k vertikálním RA a TA i horizontální. V praxi to znamená, že se zvyšuje bezpečnost nejen vyhnutím se ve vertikálním, ale i horizontálním směru. V současné době není tento systém provozován a není pravděpodobné, že se to změní, neboť se vývoj soustředí spíše na řešení v podobě ACAS X.

ACAS X je technologie, která je stále ve vývoji a zatím není v používání. Má nahradit a vylepšit software současných systémů za použití stejného hardware (antény, procesory a displeje). Díky tomu by piloti a ATC neměli pocítit změnu v užívání i přes zvýšení bezpečnosti.

ACAS Xa

Všeobecný ACAS, které aktivně vysílá dotazy k zjištění vzdálenosti vetřelce. Budoucí nástupce TCAS II. Piloti a ATC by neměli pocítit změnu díky stejnému hardware a RA, včetně zvukového signálu. Změní se však citlivost a minimální čas pro RA, kterou používá TCAS II, již nebude používána. Pro řešení konfliktních situací bude aplikována tabulka pro stanovení takové akce, která povede k bezpečnému řešení s co nejnižšími náklady.

ACAS Xo

Mód navržený pro použití v případech, ve kterých není vhodné použít ACAS Xa, neboť může být generováno nepřijatelné množství upozornění (v případech snížené separace – paralelní přiblížení), což by mohlo vést k ignorování RA posádkou. ACAS Xo dovolí pilotovi potlačit upozornění vždy pouze pro jedno letadlo.

ACAS Xp

Tato verze ACAS využívá pouze pasivní ADS-B ke sledování vetřelců. Nevysílá aktivní dotazy. Je určena pro letadla všeobecného letectví, která v současné době nejsou vybavena TCAS II.

ACAS Xu

Verze ACAS určená pro použití u UAS. Řeší vyhýbání se pomocí horizontálních manévru. V současné době se vývoj tohoto systému soustředí převážně na větší UAS.

Standardy TCAS

Od 1. ledna 2017 musí být, dle ICAO Annex 10, všechny systémy ACAS v souladu s verzí 7.1. Tato verze je povinná ve vzdušném prostoru Evropské unie pro letadla s MTOM větší než 5 700 kg, nebo s maximálním počtem cestujících větším než 19, vyjma UAS (platí pouze pro civilní letadla). Letadla dobrovolně vybavena ACAS II musí být vybavena verzí 7.1.

TCAS v RVSM

Zároveň se vznikem RVSM prostoru byl ustanoven požadavek na vybavení letadel systémem TCAS. Konkrétně provoz uvnitř RVSM vyžaduje u letadel, která ho užívají, minimálně TCAS II verzi 7.0.

Upozornění TCAS:

Informace jsou zobrazovány na displejích a v případě blízkého provozu se ozve i zvuková výstraha. Pilotovi se zobrazují informace až o 30 nejbližších letadlech v závislosti na vybavení letadel zúčastněných při výměně vzájemných údajů (viz Tabulka 3).

Vybavení sledovaného letadla	Vlastní vybavení	
	TCAS I	TCAS II
XPDR módu A	TA	Není podporováno [24]
XPDR módu C nebo módu S	TA	TA a vertikální RA
TCAS I	TA	TA a vertikální RA
TCAS II	TA	TA a koordinované vertikální RA

Tabulka 3 – závislost generovaných upozornění na vybavení letadla [23]

Mód C: Ačkoliv TCAS pracuje i s odpovídači módu A/C, je schopný sledovat takto vybavená letadla pouze do vzdálenosti 14 NM. TCAS využívá all-call dotazu pro zjištění výšky azimutu a vzdálenosti jiných letadel. Pokud není zprostředkována výška, předpokládá systém, že se sledované letadlo nachází ve stejné výšce. Odpovědi tohoto módu jsou náchylné na fruiting a garbling (viz SSR) a na vícecestné šíření.

Pro potlačení garblingu systém využívá směrových dotazů, algoritmy pro jednoznačné určení až 3 překrývajících se signálů nebo střídání dotazů o různé intenzitě signálu (technika „whisper-shout“)

Pro potlačení fruitingu se v systémech ACAS využívá algoritmů vzájemné souvislosti dotazu a odpovědi.

Vícecestné šíření, jev vznikající odrazem signálu od jiných ploch, se redukuje potlačením těchto signálů pomocí stanovení minimální úrovně intenzity přijatého signálu.

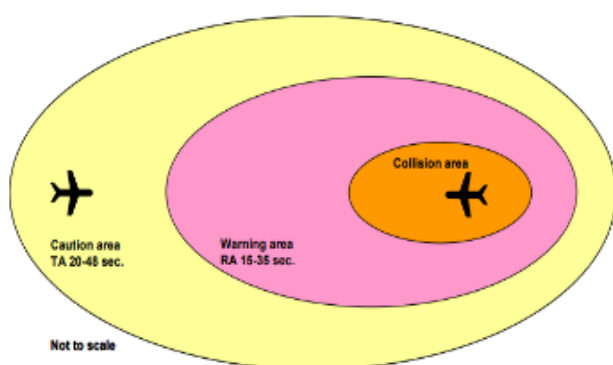
Mód S: Letadla vybavená odpovídači módu S mohou být sledována až do vzdálenosti 30 NM. TCAS II přijímá samovolné vysílání odpovídačů módu S a poté vyšle adresný dotaz letadlu, které je v potencionálně kolizní situaci. Z následné odpovědi (síly signálu, výšky a azimutu) určí systém polohu vetřelce vůči vlastnímu letadlu. Pokud sledované letadlo nezprostředkovalo výšku, systém předpokládá, že má stejnou výšku jako vlastní letadlo. Tedy uvažuje nejhorší možný případ.

V dnešní době se pro zobrazení výše uvedených informací používají displeje určené i k jiným funkcím (tj. EICAS, ND, CDTI). Většina těchto řešení dovoluje posádce určit rozmezí zobrazovaných vzdáleností ve vertikální a horizontální rovině, což napomáhá při přechodu z letu v hladině do klesání na přiblížení a přistání.

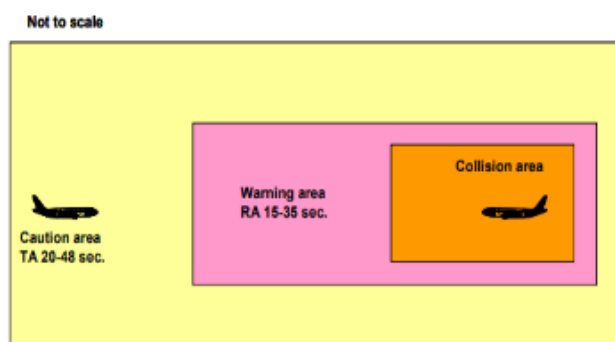


Obrázek 7 - příklad TCAS na vyhrazeném displeji [23]; RNG 40: Dosah 40 (NM), modré letadlo: vlastní letadlo, plný bílý kosočtverec: blízké letadlo, plný červený čtverec: hrozba (spustí RA), plný žlutý kruh: narušitel (spustí TA), bílý prázdný kosočtverec: jiné letadlo. Hodnoty u značky ukazují relativní polohu k vlastnímu letadlu (100 ft). Šipky vedle značek zobrazují vertikální rychlost cíle, pokud převyšuje 500ft/min.

TCAS generuje upozornění na základě času zbývajícího do bodu největšího sblížení, nikoliv na základě vzdálenosti. Nejdelší čas, při kterém posádka obdrží TA bývá 48 vteřin od CPA a 35 vteřin pro RA. Tato hodnota je však závislá na výšce vlastního letadla a na nastavení úrovně citlivosti systému. Zároveň se tato hodnota může snížit, pokud dojde k náhlé změně vzájemných poloh. Nastavení úrovně citlivosti se provádí podle předem stanovených výšek a dosahuje hodnoty od 1 po 7 (viz eurocontrol TCAS guide).



Obrázek 9 - oblasti upozornění TCAS (pohled shora) [23]



Obrázek 8 - oblasti upozornění TCAS (pohled z boku) [23]

3.1.4 PCAS

U systému PCAS (Passive collision avoidance system) se jedná o „jednodušší systém TCAS“, který aktivně nevysílá dotazy, pouze pasivně přijímá odpovědi jiných odpovídačů. Spoléhá se tedy na TCAS/SSR ve své blízkosti. To umožňuje pilotovi získat údaje o poloze jiných letadel vybavených odpovídači. Posádkám ostatních letadel však není podávána informace o letadlu vybaveném PCAS. PCAS ukazuje vertikální polohu, změnu vertikální rychlosti a je také schopen na základě síly signálu určit přibližnou vzdálenost. Podle konkrétního modelu může ukazovat i směr od letadla. Tento systém je určen jako doplnění metody see and avoid (při použití PCAS je až 8x efektivnější). [25]

3.1.5 GNSS

Tato kapitola byla vypracována pro lepší pochopení činnosti několika systémů popisovaných v této práci.

GNSS (Global Navigation Satellite System) je celosvětový navigační systém umožňující GNSS přijímačům určit polohu a navigovat v prostoru za pomoci příjmu signálu z družic obíhajících Zemi. Satelitní navigace se v letectví neustále rozvíjí a začíná přebírat funkce klasických navigačních a radionavigačních prostředků.

Princip činnosti: zařízení je zaměřováno družicemi, které obíhají kolem Země. Tyto družice vysílají signál o poloze a času (efemeridách). Pomocí měření času, potřebného pro signál od družice k dosažení letadla a znalosti polohy družice, je letadlo schopno určit vzdálenost k dané družici. Pro určení polohy zařízení je využíváno 4 družic zároveň (3 pro určení vzdálenosti a 1 pro určení přesného času). Pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti jsou zaváděny další systémy na palubě letadel a na zemi (SBAS, GBAS, ABAS) a je využíváno signálů z několika GNSS zároveň (GPS, GLONASS a další). [18]

SBAS (Space Based Augmentation System): jedná se o systém, který umožňuje lokální zvýšení přesnosti a spolehlivosti GNSS. Toho je dosaženo geostacionárními satelity nad danou oblastí, které vysílají korekční signály. Tyto korekční signály jsou získávány ze sítě pozemních stanic, které jsou přesně polohově určeny. Ačkoliv tento systém má primárně zvýšit spolehlivost GNSS, druhotným efektem jeho využití je, že se chyba měření redukuje na hodnoty menší než 1 m. [26]

ABAS (Aircraft Based Augmentation System): tento systém spolupracuje s jinými navigačními systémy na palubě letadla (INS/IRS, barometrický výškoměr apod.). ABAS má 2 části: [27]

RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring): monitoring dat z více než 4 družic, přičemž zpravidla jsou monitorována data z 6 družic. Pokud dojde k příjmu chybného signálu, systém vydá výstrahu nebo signál dané družice vyloučí a použije signál jiný.

AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring): palubní zařízení je doplněno dalšími, konvenčními, navigačními zařízeními, se kterými porovnává polohovou informaci (INS, DME, VOR a další). V případě rozdílných údajů jsou upřednostňována konvenční zařízení. [18]

GBAS (Ground Based Augmentation System): systém je tvořen několika referenčními stanicemi na zemi, které monitorují integritu signálu a zjišťují rozdíl mezi přesnou polohou a polohou změřenou pomocí GNSS. Tato odchylka polohy je vysílána letadlům v blízkosti. Ta automaticky opraví svoji polohu o odchylku, což vede k výraznému zvýšení přesnosti. Využívá se primárně pro zvýšení přesnosti GNSS při přistání. [28]

Druhy GNSS:

GPS (Global Positioning System): americký systém poskytující polohové, časové a navigační služby celosvětově. Využívá model Země WGS-84. Skládá se ze tří segmentů: vesmírného, uživatelského a pozemního. Pozemní a vesmírný segment jsou klíčové pro správný chod celého systému. Uživatelský segment využívá služeb GPS v hojné míře v mnoha sférách, jako například v zemědělství, lodní, letecké a automobilové dopravě a dalších sférách.

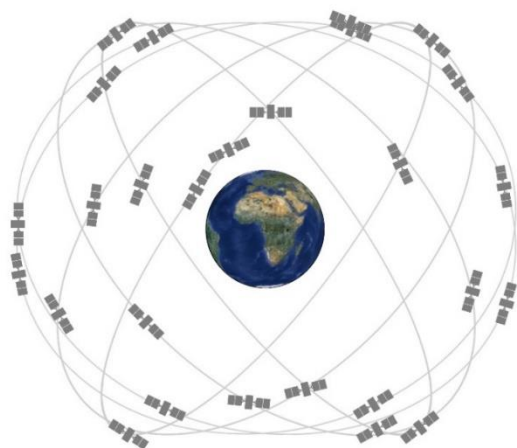
Pozemní segment: skládá se z globální sítě pozemních zařízení, která monitorují družice, jejich signál a vysílají rozkazy a data sestavě družic. Pozemní zařízení zahrnují monitorovací stanice, master control stanice a pozemní antény. [29]

Monitorovací stanice: jedná se o velké množství stanic rozmístěných po celém světě, které monitorují družice GPS v době, kdy se nachází nad nimi, sbírají o nich data a předávají je master stanici.

Master control stanice: využívá informace z jednotlivých monitorovacích stanic pro výpočet přesné polohy družic, generuje navigační zprávy, monitoruje satelitní vysílání a integritu systému, vykonává údržbu družic a opravuje jejich odchylky (úprava polohy družic pro zajištění optimální funkce GPS).

Pozemní antény: sbírají telemetrii a vysílají data a pokyny přijaté z master control station.

Vesmírný segment: skládá se z 31 operačních družic obíhajících Zemi, které vysílají rádiový signál uživatelům. Tyto družice jsou umístěny v 6 rovnoměrně rozmístěných oběžných drahách s inklinací 55° ve výšce přibližně 20 180 km nad zemským povrchem, s dobou oběhu 1/12 h. V každé oběžné dráze se do roku 2011 nacházely 4 družice, aby byla zajištěna „viditelnost“ minimálně 4 družic z takřka každého bodu na zemi. V roce 2011 přibýly další 3 družice k hlavnímu bloku, díky čemuž se nyní skládá z 27 aktivních družic a je dosaženo vyššího pokrytí. Zároveň jsou využívány další (záložní) družice pro případ, kdy je na některé z hlavních družic prováděn servis nebo pokud je některá z družic vyřazena z provozu. Tyto družice mají omezenou životnost a jsou průběžně modernizované. [30]



Obrázek 10 - Vesmírný segment GPS [30]

GLONASS (GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema): tento systém je druhým systémem, který v době psaní této práce dosáhl plné pracovní schopnosti. Jedná se o ruský systém, který poskytuje alternativu k systému GPS s podobnou přesností a podobným pokrytím. Využívá modelu Země PZ-90.11. Skládá se, stejně jako výše uvedený GPS, z uživatelského, vesmírného a pozemního segmentu. [31]

Pozemní segment: je složený z pozemních stanic rozmístěných v Rusku a Brazílii. Tyto stanice mají podobné funkce stanice systému GPS. [32]

Vesmírný segment: obsahuje 24 operačních družic obíhající zemi na 3 oběžných rovinách s inklinací $64,8^\circ$. Družice obíhají ve výšce 19 140 km nad zemským povrchem s dobou oběhu 11h a 15 minut. [33]

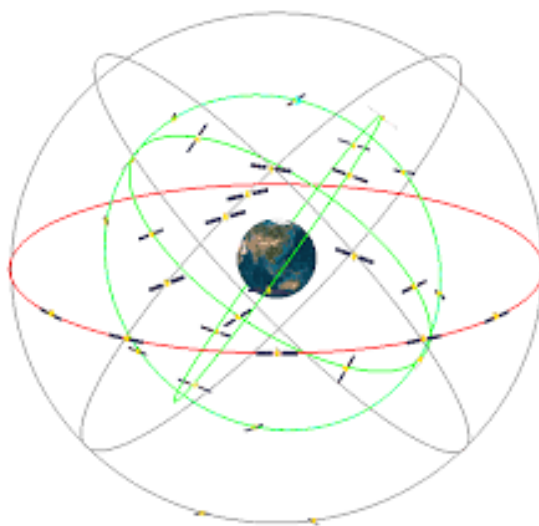


Obrázek 11 - Vesmírný segment GLONASS [33]

BeiDou: systém vyvíjený Čínou, který, v době psaní této práce, poskytuje polohové, navigační a časové služby v pacifickém regionu. Služby tohoto systému mají být rozšířeny na celosvětovou působnost. Využívá modelu země CGCS 2000. Skládá se z vesmírného, pozemního a uživatelského segmentu. Plná provozuschopnost je plánována na rok 2020. [34]

Pozemní segment: skládá se z hlavní ovládací stanice, upload stanic a monitorovacích stanic. Účel tohoto segmentu je podobný pozemnímu segmentu u GPS/GLONASS.

Vesmírný segment: v plné provozuschopnosti se skládá z 5 geostacionárních a 30 negeostacionárních družic (27 Medium Earth Orbit a 3 Inclined GeoSynchronous Orbit – viz Obr. 12) s celosvětovým pokrytím. GEO družice se budou nacházet ve výšce 35 786 km, IGSO družice se budou nacházet ve výšce 35 786 km v 3 orbitách s inklinací 55° a MEO družice se budou nacházet v 3 orbitách s inklinací 55° a výškou 27 878 km. [34]



Obrázek 12 - Vesmírný segment BeiDou [34]

Galileo: systém vyvíjený evropskými státy, který má zlepšit krytí, přesnost a integritu GNSS a snížit závislost na systémech GPS a GLONASS. Využívá model Země GTRF. Skládá se z vesmírného, pozemního a uživatelského segmentu. Plná provozuschopnost je plánována na rok 2020. [35]

Pozemní segment: obsahuje komponenty, které jsou určením i rozdělením podobné GPS/GLONASS. Tyto stanice jsou rozmístěné hlavně v Evropě, ale i jinde po světě. [36]

Vesmírný segment: počítá se s konečným počtem 30 družic (27 aktivních a 3 záložní), přičemž nyní je k dispozici 22 aktivních, 2 v testování, 2 vysloužilé a 2 nedostupné. Družice obíhají na 3 drahách ve výšce 23 222 km s inklinací 56° a dobou oběhu 14h 22 m. [37]



Obrázek 13 - Vesmírný segment Galileo [37]

3.1.6 ADS-B

ADS-B je označení pro systém monitorování letadel, který podobně jako SSR spoléhá na spolupráci cílů, avšak na rozdíl od SSR zde není zapotřebí dotazů, neboť ADS-B vysílá automaticky a průběžně. Letadla, která vysílají svoji polohu, identitu, rychlost a jiné informace mohou být pomocí tohoto systému sledována. Tyto informace mohou být zachycovány jak pozemním zařízením (ADS-B out), tak jinými uživateli vzdušného prostoru (ADS-B in). Díky tomu může ATC snáze udržovat rozstupy a optimalizovat tratě letů. [38]

Princip činnosti: letadlo vybavené ADS-B vysílá automaticky (až 2x za vteřinu) informace o poloze, rychlosti, výšce a stavu letu. Tyto údaje získává ze systémů, kterými je letadlo vybavené (aerometrických a gyroskopických přístrojů a ze signálů GNSS a dalších). Vysílané údaje jsou přijímány jak pozemními stanicemi a předávány ATC, tak letadlovými stanicemi a jejich posádkami. [39]

Informace obsažené v přenosu:

2D poloha letadla

Barometrickou výšku

Indikace kvality signálu (přesnost a spolehlivost přenášených dat)

Identifikaci letadla:

Unikátní 24-bitový kód

Identifikace letadla

Kód Módu A

Stav nouze (pokud je zvoleno)

SPI – special position indicator (pokud je zvoleno)

Příjem a vysílání informací probíhají každý jinou funkcí systému a ne každý systém musí obsahovat obě tyto funkce.

ADS-B Out: funkce obstarávající pravidelné vysílání informací o poloze, rychlosti a dalších ve formátu vhodném pro přijímače ADS-B In.

ADS-B In: funkce přijímající data z ADS-B Out vysílačů (pozemních i leteckých). Přijímané údaje mohou zahrnovat polohu jiných letadel, informace o počasí, notamy a další.

Budoucnost:

Více než 1300 ADS-B stanic bylo vystavěno ve více než 25 evropských zemích. Od roku 2019 se zároveň předpokládá zahájení využitelnosti družicových ADS-B přijímačů. Do budoucna je předpokládán rozvoj ADS-B a přijatá legislativa různých oblastí ukládá povinnost vybavení letadel IFR* a letadel nad 5 700 kg* touto technologií do roku 2020*. [39]

*může se lišit dle regionu.

3.1.7 FLARM

Jedná se o palubní antikolizní systém původně vyvinutý pro kluzáky. Nyní je využíván i menšími letadly všeobecného letectví. Pracuje na GPS signálu a barometrických vstupech a obsahuje algoritmy pro výpočet budoucí trati a zabránění kolizí. V moderních provedeních lze připojit i ADS-B signál a vysílat a přijímat polohu letadel vybavených odpovídači Módu S. Na rozdíl od tradičních ACAS má FLARM nižší spotřebu energie a je poměrně levný. [40]

3.2 Jiné možnosti zvýšení bezpečnosti provozu UAS

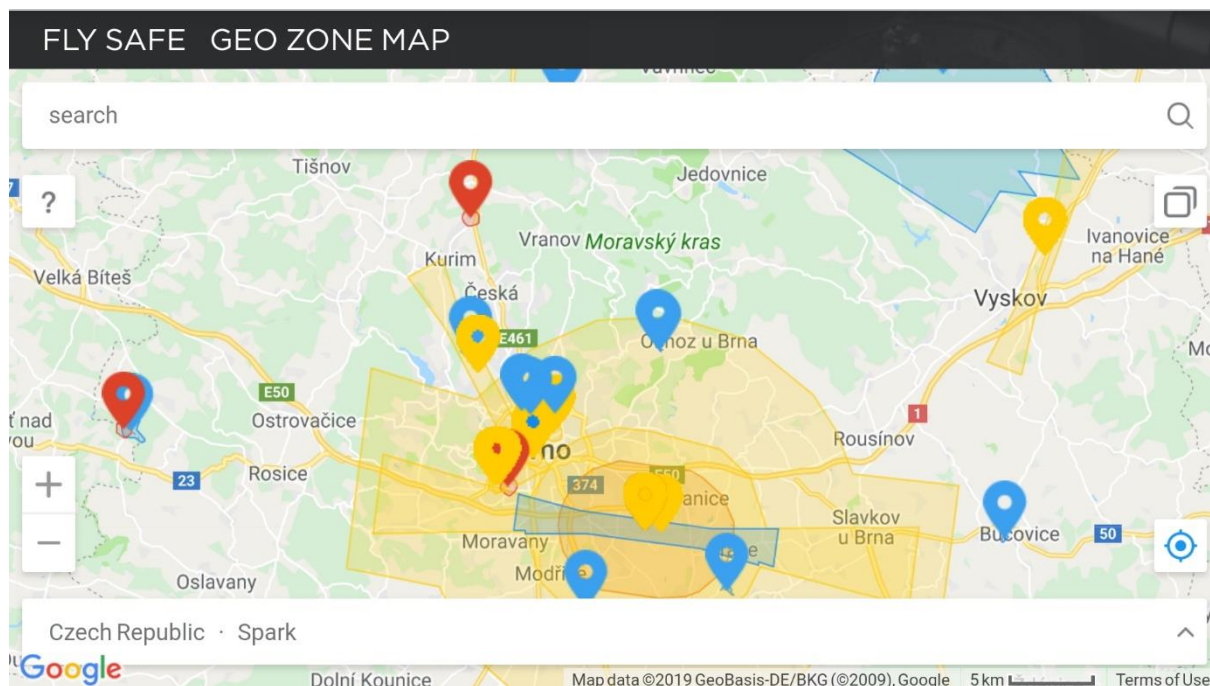
Mimo monitorování pomocí výše zmíněných metod, lze předcházet leteckým kolizím i pasivně. Toho lze docílit různými metodami. Zde je příklad některých řešení, která jsou aplikována na stávající UAS, ale i pilotovaná letadla.

3.2.1 Geofencing

Geofencing u UAS je proces, při kterém se vytvoří virtuální bariéra, která neumožní pokračování v letu daným směrem. Tato hranice je určována kombinací hardwaru a softwaru, který specifikuje parametry dané bariéry (aplikace řízení dronu a samotný dron). Poloha UAV je určována pomocí kombinace GPS (Global Positioning System) a LRFID (Local Radio Frequency Identifier) jako bluetooth nebo wifi vysílačů. Pomocí mobilního signálu, GNSS nebo wifi pro přesnost polohy okolo 20 m. Tato přesnost se dá zvýšit výstavbou pevných nebo přenosných bluetooth vysílačů v terénu na hodnotu okolo 2 m.

UAS používají geofencing, aby vyhověly předpisům týkajících se využití vzdušného prostoru. U předních výrobců bývá tato technologie často implementována přímo do továrního nastavení aplikace využívané pro řízení malých bezpilotních letadel. Díky tomu se může zamezit nezodpovědnému využití vzdušného prostoru všemi uživateli těchto zařízení. Při správném nastavení umožňuje geofencing spustit předem zvolený proces při vstupu do stanoveného prostoru. Této technologie je možné využít například tak, že letadlo nevzlétne, pokud se nachází v bezletovém prostoru nebo nebude pokračovat v letu daným směrem, pokud by tím takovýto prostor narušilo.

Pro jednoduchost integrace, použití a aktualizace se stal geofencing jednou z nejrozšířenějších metod užívaných u výrobců malých a středních UAS pro snížení počtu nezodpovědných použití těchto zařízení. Příkladem může být aplikace DJI GO, která využívá tzv. GEO (Geospatial Environment Online) a dodává uživatelům každou minutu aktualizované informace o zákazech nebo omezeních letu v dané lokalitě. To zahrnuje velká shromáždění lidí, přírodní katastrofy a další události, které mohou omezit let. GEO zároveň uchovává data o citlivých prostorech jako jsou například oblasti kolem vězení, letišť a podobně, aby nedošlo k nezamýšlenému narušení případných předpisů a pravidel. Tato aplikace je však pouze informativní a konečnou zodpovědnost nese vždy pilot daného letadla. [41]



Obrázek 14 – Zobrazení mapy okolí Brna v aplikaci DJI GO 4; zdroj aplikace DJI GO 4; vysvětlení viz příloha 3

3.2.2 Světla/Barva

Využití výrazných barev a světelných návěstidel pro zvýšení pravděpodobnosti spatření letadla pilotem jiného letadla je metoda využívaná jak na pilotovaných letadlech, tak na UAV. Tato metoda zviditelnění je využitelná pouze pro lety za podmínek letu za viditelnosti, neboť je založena na vyhnutí se na základě vizuálního kontaktu.

Podle druhu letů, které budou uskutečňovány nejčastěji (lety ve dne, nebo v noci) a s ohledem na oblasti, ve které budou lety uskutečňovány (v okolí lesa, nad vodní plochou, v poušti, atd.), by se měla volit barva letadla tak, aby byla v daném prostředí co nejvýraznější. Ve dne je tedy lepší volit barvy, které se v dané oblasti přirozeně nevyskytují. Pro lety v noci je spíše než barva nátěru důležité, aby nátěr měl reflexní vlastnosti zajišťující odraz světla.

Světelné zvýraznění výrazně napomáhá hlavně za snížených meteorologických podmínek a při letech v noci. Pro tyto účely je vhodné volit výraznější barvy, které jsou lidským okem lépe zachytitelné (červená, bílá, zelená). Zároveň je žádoucí volit takovou intenzitu světla, která bude postřehnutelná z dostatečné vzdálenosti, zároveň však ne tak intenzivní, aby oslnila piloty ostatních letadel.

4 Implementace

Ačkoliv mají všechna řešení zmíněná v předchozí kapitole využití v rámci letecké dopravy, ne všechna se hodí pro všechny druhy UAS. Je důležité rozlišovat kategorie UAS pro snadnou a efektivní implementaci těchto systémů. Tím by mohlo být dosaženo plošného zvýšení bezpečnosti bez přílišného narušení vývoje a využitelnosti UAS.

Tato kapitola je věnována převážně civilním bezpilotním systémům, neboť se liší od vojenských ve využití, požadavcích na jejich provoz a jejich očekávaném vývoji. Jedná se o možné řešení, nikoli jediné správné a reflektuje pouze autorův názor, jakým směrem by se mohlo ubírat řešení tohoto problému. Zároveň se jedná o řešení pro bezpilotní systémy v smyslu RPAS, nikoli o autonomní letadla, u kterých není v nejbližší době předpokládán jejich vstup do společného vzdušného prostoru.

Low performance/třída I – Micro:

Tato zařízení jsou využívána k rekreačním a soutěžním účelům. Velikostí, nosností a doletem jsou pro monitorovací a antikolizní systémy nevhodná. Vzhledem k jejich nízké maximální výšce letu a špatné schopnosti letu ve venkovních prostorech, je však u nich malá pravděpodobnost střetu s jinými letadly. Vhodným řešením pro tuto skupinu UAS je vizuální zvýraznění spojené s letem za dobrých meteorologických podmínek a za stálé dohlednosti UAV pilotem. Pro zvýšení bezpečnosti může být aplikován i geofencing. Ten se ale jeví zbytečným, vzhledem k nízké pravděpodobnosti letu venku a zanedbatelnému potenciálnímu poškození letadla při srážce. Zároveň by bylo vhodné pokračovat v iniciativách, které mají vzdělávat piloty těchto strojů.

Medium performance/třída I - Mini:

Zástupci této skupiny jsou nejmenší letadla, která jsou v dnešní době používána pro komerční i rekreační použití a lze tedy předpokládat, že tento trend bude i pokračovat. U obou variant je rozhodně vhodné pokračovat ve vzdělávacích iniciativách pro piloty a obsluhu UAS.

Pro rekreační použití mohou být použity vizuální zvýrazňovací prostředky ve spojení s geofencingem a letem za dobrých meteorologických podmínek a za stálé dohlednosti pilota. Pokud se jedná o zkušenou obsluhu a při zvýšené opatrnosti může být prováděn let i za EVLOS. Pokud by měl být prováděn let v oblasti s hustým provozem nebo let za hranicí EVLOS, je nutné přistoupit k sofistikovanějším řešením. Pro tuto kategorii je patrně nejvhodnější PCAS, neboť je přijatelný cenou i rozměry a pro rekreační let dostačující. Je také vhodné určit prostory, ve kterých tyto stroje létat nemohou (CTR, zakázané prostory, apod.). Zde by byla vhodná aplikace geofencingu. V případě absolvování výcviku a prokázání potřebných znalostí pilota by některé prostory mohly být povoleny pro lety zařízení této třídy (např. CTR – s povolením ATC).

Pro komerční použití je vhodné k těmto způsobům zabezpečení přidat i ADS-B ve spolupráci s GNSS a v budoucnu případně i ACAS Xu. Ačkoliv se u ADS-B zatím jedná o poměrně drahé řešení, může být technologickým vývojem a zvýšenou poptávkou dosaženo značného snížení cen. Alternativně se také nabízí využití technologie FLARM s možností

připojení ADS-B signálu. Zároveň je vhodné přizpůsobit let povětrnostním podmínkám, případně provádět let VLOS/EVLOS.

Vzhledem k poměrně malé odrazné ploše není možné spolehlivě využít PSR jako záložní systém.

High performance - LALE/třída I – Small:

UAV této skupiny jsou využívány převážně pro komerční účely, bývají však používány i pro rekreační využití. Svou velikostí a nosností se podobají malým letadlům. U těchto strojů je vyžadován výcvik, tudíž se dá předpokládat jistá úroveň odbornosti u jejich obsluhy. Zároveň mají tato letadla dostatečnou odraznou plochu pro efektivní použití PSR.

Rekreační využití je v tomto případě spíše ojedinělé, může se však vyskytnout. Vzhledem k nezanedbatelné hmotnosti a většímu výkonu je pro zachování bezpečnosti nutné trvalé monitorování. Proto by tyto stroje měly být vybavené systémem ADS-B spolupracujícím s GNSS. V budoucnu by tato letadla mohla být vybavena ACAS Xu, v závislosti na třídě vzdušného prostoru, ve které budou provozována, přičemž v řízeném prostoru vždy výhradně s ním.

Komerčně využívané UAV střední třídy by měla být vybavena systémem ADS-B ve spolupráci s GNSS a pro lety v oblastech s hustým provozem by měla disponovat minimálně systémem PCAS, do budoucna případně systémem ACAS Xu. Zároveň by měla být vybavena prostředky pro vizuální zvýraznění.

High performance – MALE + HALE/třída II + třída III:

UAV této skupiny se výkonem, doletem i dostupem rovnají pilotovaným letadlům. Jejich rozměry zároveň umožňují využití PSR, nejméně jako záložní metody. Vzhledem k předpokládanému využití v komerční sféře mohou být aplikována souběžně jak klasická řešení ve formě primárního sledovacího radaru ve spolupráci s ATC a TCAS, tak moderní řešení ve formě spolupráce ADS-B s GNSS. Zároveň je vhodné aplikovat vizuální zvýraznění ve formě světelných návěstidel, případně nátěru. Do budoucna je také vhodné připravit tyto stroje na další vývoj systému ACAS Xu a podle stavu vývoje přistoupit k jeho aplikaci.

Všeobecná opatření:

Všeobecná opatření se týkají všech kategorií UAS a jsou nutné pro jejich případné začlenění do společného vzdušného provozu. Vzhledem k možnosti selhání jednoho nebo více systémů, ať už antikolizních, polohových nebo komunikačních, je nutné, aby UAV disponovala přednastaveným postupem, který v takových případech bude aplikován (dle dané situace). Tyto postupy musí být specifické pro účel, druh a způsob letu, který je prováděn. Může se jednat o samovolné pomalé přistání (pro UAV se schopností vertikálního vzletu a přistání), o let nad předem určenou plochu a pokus samovolného přistání (pro UAV, která nenesou pasažéry a ztratila spojení s řídicí stanicí) a další. Tyto postupy by měly být testovány a následně schvalovány příslušnými orgány. Úroveň UAS musí dosáhnout takového bodu, kdy bude zajištěna integrita a spolehlivost systému a bezpečnost všem osobám na palubě i na zemi.

5 Závěr

Bezpilotní systémy se stále vyvíjejí a dochází k rozšíření jejich využitelnosti. Ačkoliv by mohla být bezpilotní letadla monitorována pomocí systémů spolupracujících s ATC, je zde nebezpečí selhání těchto, ale i dalších systémů. Zároveň by se neúměrně zvýšila pracovní zátěž na ATC, kvůli čemuž jsou tyto metody samotné, shledány jako nedostatečné.

Do budoucna se bude dále rozvíjet obor bezpilotních letadel, aby byla zajištěna integrita, bezpečnost a spolehlivost těchto systémů do uspokojivé míry. Pokud se osvědčí vzdáleně pilotované systémy v provozu, vzniknou zřejmě i autonomní letadla, která přinesou další výzvy.

Je také zřejmé, že vývoj antikolizních a dalších monitorovacích systémů musí pokračovat jak v technické sféře, tak zároveň v té legislativní. S nástupem plné operační schopnosti zmíněných GNSS systémů se také zvýší přesnost polohových služeb, díky čemuž bude možné lépe monitorovat všechny účastníky vzdušného prostoru.

Tato práce by měla sloužit hlavně jako náhled do problematiky UAS a využití antikolizních systémů pro vstup UAS do společného vzdušného prostoru. V této práci bylo toto téma rozpracováno a byla navržena řešení pro různé skupiny bezpilotních letadel. Práce byla koncipována jako učební text pro další studenty oboru Profesionální pilot VUT v Brně. K prohloubení vědomostí doporučuji prostudování seznamu použité literatury.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] TRAFFIC & COLLISION WARNING. *FLARM* [online]. Cham: FLARM Technology, 2007 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://flarm.com/technology/traffic-collision-warning/>
- [2] *The law of unmanned aircraft systems: an introduction to the current and future regulation under national, regional and international law*. 1st ed. Alphen aan den Rijn, The Netherlands: Kluwer Law International, 2016. ISBN 90-411-6126-0.
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA. *PŘEDPIS L 2: Doplněk X - Bezpilotní systémy*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2017, ročník 2017, Změna č.6. Dostupné také z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [4] Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?. *ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ* [online]. Praha: ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, 2011 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>
- [5] The flight machines of the ancient Greeks: The flying pigeon of Archytas. *MUSEUM of ANCIENT GREEK TECHNOLOGY* [online]. Katakolo: Kostas Kotsanas, 2007 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://kotsanas.com/gb/exh.php?exhibit=2001001>
- [6] MARSHALL, Douglas M., Richard K. BARNHART, Eric SHAPPEE a Michael MOST. *Introduction to unmanned aircraft systems*. Second edition. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-148-2263-930.
- [7] V-1 flying bomb. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/V-1_flying_bomb
- [8] FAA Releases 2016 to 2036 Aerospace Forecast. *Federal Aviation Administration* [online]. Washington, DC: Federal Aviation Administration, 2016 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=85227>
- [9] History of unmanned aerial vehicles. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles
- [10] MQ-1L Predator UAV armed with AGM-114 Hellfire missiles. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator#/media/File:Twuav_13_02.jpeg
- [11] Facebook Aquila. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Facebook_Aquila
- [12] Amazon Prime Air. *Amazon* [online]. Seattle: Amazon, 2016 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>

- [13] Spark. *Dji* [online]. Šen-čen: Dji, 2017 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/spark/info>
- [14] SZABOLCSI, Róbert. *BEYOND TRAINING MINIMUMS – A NEW CONCEPT OF THE UAV OPERATOR TRAINING PROGRAM* [online]. 2016, **2016**(3) [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305760970_Beyond_Training_Minimums_-_A_New_Concept_of_the_UAV_Operator_Training_Program
- [15] SÁNDOR, Zsolt. *Challenges Caused by the Unmanned Aerial Vehicle in the Air Traffic Management* [online]. Periodica PolytechnicaTransportation Engineering, 2017, **2017**(-) [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: https://pp.bme.hu/tr/article/view/11204/7890?fbclid=IwAR3Hqnx9reOFPOowDmHcZl__hSdlr x5vx3sqKYApUCLmEKPiJHJir19uFfw
- [16] Příprava společných evropských pravidel. *ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ* [online]. Praha: ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, 2011 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/priprava-spolecnych-evropskych-pravidel?highlightWords=uas>
- [17] *Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Guidance* [online]. 2015, **2015**() [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%20722%20Sixth%20Edition%20March%202015.pdf>
- [18] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00 00 00): učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-764-2.
- [19] Principle of primary radar. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A4rradar#/media/File:Radaroperation.gif>
- [20] Transponder. *SKYbrary* [online]. -: SKYbrary, 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/index.php/Transponder>
- [21] Mode C. *SKYbrary* [online]. -: SKYbrary, 2017 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_C
- [22] Mode S. *SKYbrary* [online]. -: SKYbrary, 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S
- [23] *ACAS Guide Airborne Collision Avoidance* [online]. Eurocontrol, 2017, **2017**(2017) [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/safety/ACAS/safety-acas-II-guide.pdf>
- [24] *Introduction to TCAS II: Version 7.1* [online]. Federal Aviation Administration, 2011, **2011**(2011) [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/TCAS%20II%20V7.1%20Intro%20booklet.pdf

- [25] *HindSight 22: COLLISION AVOIDANCE FOR LIGHT AIRCRAFT* [online]. Eurocontrol, 2015, **2015**(-) [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/Hindsight/hindsight-22-collision-avoidance.pdf>
- [26] SBAS General Introduction. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2014 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_General_Introduction
- [27] GNSS: ABAS. *EUROCONTROL* [online]. Maastricht: EUROCONTROL, 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/gnss>
- [28] Ground-Based Augmentation System (GBAS). *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2014 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Ground-Based_Augmentation_System_\(GBAS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Ground-Based_Augmentation_System_(GBAS))
- [29] Control Segment. *GPS* [online]. Silver Spring: NOAA, 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [30] Space Segment. In: *GPS* [online]. Silver Spring: NOAA, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- [31] GLONASS General Introduction. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction
- [32] GLONASS Ground Segment. *Navipedia* [online]. Praha: GSSC, 2014 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Ground_Segment
- [33] GLONASS Space Segment. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2011 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Space_Segment
- [34] *BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard: Version 2.0* [online]. 2018, **2018**(2018) [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.beidou.gov.cn/xt/gfxz/201812/P020181227529449178798.pdf>
- [35] Galileo General Introduction. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction
- [36] Galileo Ground Segment. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Ground_Segment
- [37] Galileo Space Segment. *Navipedia* [online]. Madrid: GSSC, 2018 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Space_Segment
- [38] Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B): Flight Operations Information Package. *Airservices Australia* [online]. Canberra: Airservices Australia, - [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://www.airservicesaustralia.com/wp-content/uploads/UAP_Flight_Ops_Info_Package_V4.0.pdf
- [39] Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B). *SKYbrary* [online]. Maastricht: SKYbrary, 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z:

[https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_\(ADS-B\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B))

- [40] FLARM. *SKYbrary* [online]. - : SKYbrary, 2016 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/index.php/FLARM>
- [41] PATTERSON, John. HELIGUY'S GUIDE TO GEOFENCING. *Heliguy* [online]. North Shields: Heliguy, 2017 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.heliguy.com/blog/2017/02/16/heliguys-guide-to-geofencing/>
- [42] Hewitt-Sperry Automatic Airplane in 1918. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hewitt-Sperry_Automatic_Airplane#/media/File:Hewitt-Sperry_Automatic_Airplane_1918.jpg
- [43] V-1 před startem. In: *Wikipeda* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2008 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V-1#/media/File:Bundesarchiv_Bild_146-1973-029A-24A,_Marschflugk%C3%B6rper_V1_vor_Start.jpg
- [44] Lavochkin La-17 - Patriot Museum, Kubinka. In: *Wikipeda* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lavochkin_La-17#/media/File:Lavochkin_La-17_-_Patriot_Museum,_Kubinka_\(37756665264\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lavochkin_La-17#/media/File:Lavochkin_La-17_-_Patriot_Museum,_Kubinka_(37756665264).jpg)

Seznam použitých zkratek:

Zkratka	Význam česky	Význam anglicky
AAIM	Autonomní monitorování integrity palubního přijímače GNSS	Airborne Autonomous Integrity Monitoring
ABAS	Metoda rozšiřování možností GNSS pomocí úprav palubních zařízení	Airborne based augmentation system
ACAS	Palubní protisrážkový systém	Airborne collision avoidance system
ADS-B	Automatické závislé sledování - rozhlasové	Automatic dependent surveillance-broadcast
ATC	Řízení/Řídící letového provozu	Air traffic control/controller
BVLOS	Mimo vizuální dohled	Beyond Visual Line Of Sight
CDTI	Grafická jednotka zobrazující okolní provoz	Cockpit display of traffic information
CGCS 2000	Referenční systém BeiDou	China Geodetic Coordinate System 2000
cm	Centimetr	Centimeter
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví	European aviation safety agency
EHS	Evropské hospodářské společenství	European Economic Community
EHS	Rozšířený přehled (SSR)	Enhanced Surveillance
EICAS	„Systém indikace motoru a varování posádky“	Engine indication and crew alerting system
ELS	Základní přehled (SSR)	Elementary surveillance
ES	Evropské společenství	European Community
EU	Evropská unie	European union
EVLOS	Rozšířený vizuální dohled	Extended Visual Line Of Sight
FAA	Federální letecká správa	Federal aviation administration
FMS	„Palubní počítač“	Flight management system
ft	Stopy	Feet
GBAS	Metoda rozšiřování možností GNSS pomocí pozemních přijímačů	Ground Based Augmentation System
GS	Traťová rychlost	Ground speed
GLONASS	Celosvětový navigační družicový systém (Rusko)	Globalnaya Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma
GNSS	Globální družicový polohový systém	Global navigation satellite system
GPS	Globální polohový systém	Global positioning system
GTRF	Referenční systém Galileo	Galileo terrestrial reference frame
h	Hodina	Hour
IAS	Indikovaná vzdušná rychlost	Indicated airspeed
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International civil aviation organization
IFR	Pravidla pro let podle přístrojů	Instrument flight rules
J	Joule	Joule
JARUS	Sdružení leteckých úřadů pro tvorbu leteckých předpisů v oblasti bezpilotních systémů	Joint authorities for rulemaking on unmanned systems
kg	Kilogram	kilogramme
km	Kilometr	Kilometer
km/h	kilometr za hodinu	kilometer per hour
LIDAR	Laserový měřič vzdálenosti	Light Detection And Ranging

LRFID	Lokální identifikátor na rádiovém kmitočtu	Local radio frequency identifier
m	Metr	Meter
MHz	Megahertz	Megahertz
MTOM	Maximální vzletová hmotnost	Maximum takeoff mass
MTOW	Maximální vzletová váha	Maximum takeoff weight
ND	Navigační displej	Navigation display
NM	Námořní míle	Nautical mile
PCAS	Pasivní protisrážkový systém	Passive collision avoidance system
PSR	Primární přehledový radar	Primary surveillance radar
PZ-90.11	Referenční systém GLONASS	Parametry Zemli 1990
RA	„hlášení řešení“	Resolution advisory
RAIM	Autonomní monitorování integrity palubního přijímače GNSS	Receiver autonomous integrity monitoring system
RADAR	„rádiové rozpoznávání a zaměřování“	Radio detection and ranging
RPA	Dálkově řízené letadlo	Remotely piloted aircraft
RPAS	Dálkově ovládaný letadlový Systém	Remotely piloted aircraft system
RVSM	Snížená vertikální minima rozstupů	Reduced vertical separation minimum
SBAS	Metoda rozšiřování možností GNSS pomocí úprav řídicího a kosmického segmentu	Space based augmentation system
SSR	Sekundární přehledový radar	Secondary surveillance radar
SVD	Směrový vyzařovací diagram	Směrový vyzařovací diagram
TA	Dopravní hlášení	Traffic advisory
TCAS	Palubní protisrážkový systém	Traffic alert and collision avoidance system
UA	Bezpilotní letadlo	Unmanned aircraft
UAS	Bezpilotní letadlový systém	Unmanned aircraft system
UAV	Bezpilotní letadlo	Unmanned aerial vehicle
USA	Spojené státy americké	United states of america
VFR	Pravidla pro let za viditelnosti	Visual flight rules
VLOS	Ve vizuálním dohledu	Visual Line Of Sight
VP	Vzdušný prostor	Airspace
WGS-84	Referenční systém GPS	World geodetic system 1984
XPDR	Odpovídač	Transponder

Seznam použitých obrázků:

OBRÁZEK 1 – HEWITT-SPERRY AUTOMATIC AIRPLANE [42]	16
OBRÁZEK 2 – VERGELTUNGSWAFFE 1 (V1) [43].....	16
OBRÁZEK 3 - LAVOCHKIN LA-17 [44].....	17
OBRÁZEK 4 - GENERAL ATOMICS MQ-1 PREDATOR [10]	18
OBRÁZEK 5 - KONCEPT AMAZON DELIVERY DRONU [12]	18
OBRÁZEK 6 - PRINCIP PRÁCE PRIMÁRNÍHO SLEDOVACÍHO RADARU [19] (UPRAVENO)	26
OBRÁZEK 7 - PŘÍKLAD TCAS NA VYHRAZENÉM DISPLEJI [23].....	31
OBRÁZEK 8 - OBLASTI UPOZORNĚNÍ TCAS (POHLED Z BOKU) [23]	31
OBRÁZEK 9 - OBLASTI UPOZORNĚNÍ TCAS (POHLED SHORA) [23]	31
OBRÁZEK 10 - VESMÍRNÝ SEGMENT GPS [30].....	34
OBRÁZEK 11 - VESMÍRNÝ SEGMENT GLONASS [33]	34
OBRÁZEK 12 - VESMÍRNÝ SEGMENT BEIDOU [34]	35
OBRÁZEK 13 - VESMÍRNÝ SEGMENT GALILEO [37]	36
OBRÁZEK 14 – ZOBRAZENÍ MAPY OKOLÍ BRNA V APLIKACI DJI GO 4; ZDROJ APLIKACE DJI GO 4	38

Seznam použitých tabulek:

TABULKA 1 - ROZDĚLENÍ DLE VELIKOSTI/HMOTNOSTI (~ZASTUPUJE VÝRAZ NĚKOLIK JEDNOTEK) [14].....	20
TABULKA 2 - DĚLENÍ DLE VÝKONNOSTI (~ZASTUPUJE VÝRAZ NĚKOLIK JEDNOTEK) [15]	21
TABULKA 3 – ZÁVISLOST GENEROVANÝCH UPOZORNĚNÍ NA VYBAVENÍ LETADLA [23]	30

Seznam příloh:

PŘÍLOHA 1 - UPOZORNĚNÍ TCAS [23]	49
PŘÍLOHA 2 - KOMPONENTY TCAS [23]	50
PŘÍLOHA 3 - LEGENDA MAPY APLIKACE DJI GO; ZDROJ: APLIKACE DJI GO	51

Příloha 1:

Upward sense			Downward sense		
RA	Required vertical rate (ft/min.)	Aural	RA	Required vertical rate (ft/min.)	Aural
Climb	1500	Climb, climb	Descend	– 1500	Descend, descend
Crossing Climb	1500	Climb, crossing climb; climb, crossing climb	Crossing Descent	– 1500	Descend, crossing descend; descend, crossing descend
Maintain Climb ³²	1500 to 4400	Maintain vertical speed, maintain	Maintain Descent ³²	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, maintain
Maintain Crossing Climb ³²	1500 to 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain	Maintain Crossing Descent ³²	– 1500 to – 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain
Level Off	0	Level off, level off	Level Off	0	Level off, level off
Reversal Climb ³³	1500	Climb, climb NOW; climb, climb NOW	Reversal Descent ³³	– 1500	Descend, descend NOW; descend, descend NOW
Increase Climb ³³	2500	Increase climb, increase climb	Increase Descent ³³	– 2500	Increase descent, increase descent
Preventive RA	No change	Monitor vertical speed	Preventive RA	No change	Monitor vertical speed
RA Removed	n/a	Clear of conflict	RA Removed	n/a	Clear of conflict

Příloha 1 - Upozornění TCAS [23]

Příloha 2:

Computer unit – which performs airspace surveillance, intruder tracking, threat detection, avoidance manoeuvre determination and the generation of advisories.

TCAS/transponder control panel – the operating capability level of the TCAS system is set by the pilot from the control panel:

- **Stand-by:** TCAS is off. Power is applied to the TCAS Processor and the Mode S transponder, but TCAS does not issue any interrogations and the transponder will reply only to discrete interrogations.
- **Transponder:** The Mode S transponder is fully operational and will reply to all appropriate ground and TCAS interrogations. TCAS remains in Stand-by.
- **TA-Only:** only TAs can be issued. The Mode S transponder is fully operational. TCAS will operate normally and issue the appropriate interrogations and perform all tracking functions. However, TCAS will only issue TAs; RAs will be inhibited.
- **Automatic or TA/RA:** normal TCAS operation. The Mode S transponder is fully operational. TCAS will operate normally and issue the appropriate interrogations and perform all tracking functions. TCAS will issue TAs and RAs when appropriate.

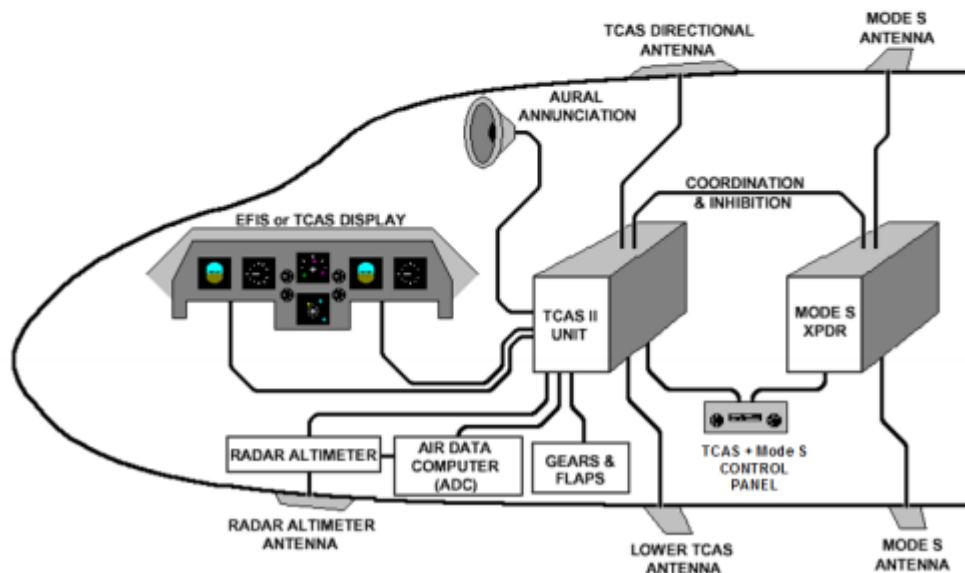











Figure 7: TCAS II installation schematic diagram.

Příloha 2 - komponenty TCAS [23]

Příloha 3:

FLY SAFE GEO ZONE MAP	
	Warning Zones
	Enhanced Warning Zones
	Restricted Zones. In these Zones, which appear red in the DJI GO app, users will be prompted with a warning and flight is prevented. If you believe you have the authorization to operate in a Restricted Zone, please contact flysafe@dji.com or Online Unlocking .
	Enhanced Warning Zones. In these Zones, you will be prompted by GEO at the time of flight to unlock the zone using the same steps as in an Authorization Zone, but you do not require a verified account or an internet connection at the time of your flight.
	Altitude Zones: Altitude zones will appear in gray on the map. Users receive warnings in DJI GO, or DJI GO 4 and flight altitude is limited.
	Authorization Zones. In these Zones, which appear blue in the DJI GO map, users will be prompted with a warning and flight is limited by default. Authorization Zones may be unlocked by authorized users using a DJI verified account.
	Densely Populated Area: This area is shown in red on the map. Under normal circumstances, the population of this area is more concentrated, so please do not fly over this area. (Example: Commercial Block)
	Regulatory Restricted Zones: Due to local regulations and policies, flights are prohibited within the scope of some special areas. (Example: Prison)
	Warning Zones. In these Zones, which may not necessarily appear on the DJI GO map, users will be prompted with a warning message. Example Warning Zone: A protected wildlife area.
	Recommended flight: This area is shown in green on the map. It is recommended that you choose these areas for flight arrangements.

Příloha 3 - legenda mapy aplikace DJI GO; zdroj: Aplikace Dji Go